11955/A

Chalk from:

Mr. Duval
à Cauions

Bailly, C.F.

MANUEL

DE

PHYSIQUE.

Épilepsie (de l') en général, et particulièrement de celle qui est déterminée par des causes morales; par M. Doussin-Dubreuil. 1 vol. in-12, deuxième édition, 1825. 3 fr.

Lettres sur les dangers de l'Onanisme, et conseils relatifs au traitement des maladies qui en résultent; par *Doussin-Dubreuil;* 1 vol. in-12, 1813. 1 f. 50 c.

Guide (nouveau) de la Politesse, ouvrage critique et moral, par *Emeric*, seconde édition, 1 vol. in-8°, 1822. 5 f.

Manuel du Limonadier, du Confiseur et du Distillateur; contenant les meilleurs procédés pour préparer le café, le chocolat, le punch, les glaces, boissons rafraîchissantes, etc., etc.; par M. *Cardelli;* un gros vol. in-18, troisième édition, 1823. 2 f. 50 c.

Manuel théorique et pratique des Garde-Malades et des personnes qui veulent se soigner elles-mêmes, ou l'Ami de la santé; contenant un exposé clair et précis des soins à donner aux malades de tous genres; par M. *Morin;* un gros vol. in-18, 1824. 2 f. 50 c.

Manuel théorique et pratique du Peintre en bâtimens, du Doreur et du Vernisseur; ouvrage utile tant à ceux qui exercent ces arts qu'aux fabricans de couleurs et à toutes les personnes qui voudraient décorer elles-mêmes leurs habitations, leurs appartemens, etc.; par M. *Riffault;* un vol. in-18, 1824. 2 f. 50 c.

Manuel théorique et pratique du Vigneron français, contenant l'art de cultiver la vigne, de faire, de perfectionner et conserver les vins, eaux-de-vie et vinaigres; par M. *Thiébault de Berneaud;* un gros vol. in-18, orné de fig. 1824. 3 f.

Manuel du Cuisinier et de la Cuisinière, à l'usage de la ville et de la campagne, contenant toutes les recettes les plus simples pour faire bonne chère avec économie, ainsi que les meilleurs procédés pour la Pâtisserie et l'Office; précédé d'un Traité sur la dissection des viandes; suivi de la manière de conserver les substances alimentaires, et d'un Traité sur les vins; par M. *Cardelli,* ancien chef d'office; troisième édition, un vol. in-18, 1825. 2 f. 50 c.

42550

MANUEL
DE
PHYSIQUE,
OU
ÉLÉMENS ABRÉGÉS DE CETTE SCIENCE,

MIS A LA PORTÉE DES GENS DU MONDE ET DES ÉTUDIANS;

CONTENANT

L'exposé complet et méthodique des propriétés générales des corps solides, liquides et aériformes, ainsi que des phénomènes du son; suivi de la nouvelle Théorie de la lumière dans le système des ondulations, et de celle de l'électricité et du magnétisme réunis.

PAR C. BAILLY,

MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ LINNÉENNE DE PARIS ET DE PLUSIEURS AUTRES SOCIÉTÉS SAVANTES, ÉLÈVE DE MM. ARAGO, BIOT ET GAY-LUSSAC.

OUVRAGE ORNÉ DE PLANCHES.

Seconde Edition.

PARIS,

RORET, LIBRAIRE, RUE HAUTEFEUILLE,

AU COIN DE CELLE DU BATTOIR.

1825.

WELLCOME
HISTORICAL
MEDICAL
LIBRARY

ARTICLE PRÉLIMINAIRE.

L'HOMME, avant de réfléchir, lorsque sa raison encore enveloppée des nuages de l'ignorance, encore flottante dans les incertitudes de la jeunesse, s'abandonne aux premières impressions des sens, est d'abord frappé d'étonnement à la vue de ce qui se passe autour de lui : la grandeur, la multiplicité, la variété infinie des phénomènes de la nature, confond son imagination, et il croit n'avoir d'autre parti à prendre que de se prosterner devant ce qui l'étonne, que de contempler ce qui le remplit d'admiration ; mais bientôt à mesure que son esprit prend l'habitude de la méditation, l'observation attentive des faits et de leurs rapports lui fait reconnaître de l'ordre dans ce qui paraissait le résultat du hasard, de la suite dans ce qui semblait d'abord sans liaison, et sentant dès lors l'action d'une cause sans cesse agissante dans un certain but, il s'aperçoit que la nature étudiée peut lui laisser pénétrer quelques uns de ses secrets, et que de ces recherches pourra jaillir une source abondante d'applications utiles et une foule d'explications non moins curieuses qu'importantes.

L'étude de la nature comprend celle de

tous les corps qui nous entourent, à commencer par nous-mêmes; celle de tous les phénomènes qui se renouvellent sans cesse sous nos yeux; l'explication des révolutions que les astres qui peuplent les espacès, que le globe que nous habitons, que les êtres qui se trouvent à sa surface, éprouvent perpétuellement ou à divers intervalles. L'étude de la nature intéresse donc tous les hommes; elle n'est étrangère à aucune classe, à aucune condition, puisqu'il n'en est aucune qui ne soit environnée d'agens naturels dont il faille se préserver ou tirer parti. Celui qui ne cherche qu'à satisfaire sa curiosité, étendre les limites de ses connaissances, éviter les causes d'erreurs, aussi bien que le savant qui s'instruit de ce qui est pour savoir ce qui doit être, ont intérêt à connaître les véritables causes de tout ce qu'ils observent, afin de satisfaire l'inquiétude de leur raison, afin de prévoir jusqu'à un certain point ce qui arrivera, en sachant ce qui est arrivé dans des circonstances pareilles, afin aussi de se prémunir contre des méprises dangereuses, et de ne point s'abandonner à une admiration aveugle, à des terreurs sans fondement.

Si l'étude des phénomènes naturels est importante pour tous, on peut même dire indispensable, qu'y a-t-il aussi de plus attrayant? Si les poètes, si les romanciers savent non seulement captiver notre attention, mais nous charmer, nous émouvoir, par la description

des tableaux de tout genre que nous offre la nature dans ses productions, dans ses contrastes, dans ses rapports, par le récit des scènes riantes ou sauvages, gracieuses ou terribles qui s'y succèdent, quel attrait ne doit-on point trouver à la solution de tant de questions aussi importantes, aussi curieuses, à l'explication de tant de phénomènes aussi grandioses, aussi singuliers, aussi bizarres même au premier aspect? S'il ne convient point de présenter des notions de cet ordre avec un style aussi riche; si, dans ces matières, l'usage de la poésie et du style descriptif est toujours un abus, la richesse du sujet, l'importance des faits qu'il explique, des choses qu'il retrace, des idées nouvelles qu'il fait naître, ne suffisent-ils pas pour compenser la simplicité de l'expression, pour ramener sans cesse l'attention la plus distraite, pour intéresser aussi fortement que les aventures d'un héros fictif, ou l'histoire souvent bien incertaine des temps passés?

L'étude de la nature est donc nécessaire et attrayante. Que dans ces temps de barbarie où les moyens de destruction et d'asservissement étaient seuls cultivés, ce qui élève la pensée, agrandit le génie de l'homme, ait été méprisé, c'était la conséquence de l'état social. Mais maintenant que l'instruction plus que jamais devient la mesure du mérite de l'homme et de l'estime qu'on doit lui accorder, comment celui qui se destine à paraître dans le monde,

pourrait-il ignorer la cause et les principaux effets de tout ce qui existe autour de lui? La science se répand de jour en jour davantage; des discussions scientifiques s'établissent là où, naguère, on ne s'occupait que de futilités; en un mot, l'impulsion des idées générales vers les sciences positives est si grande, que les ignorer, c'est être étranger à ce qui fixe l'attention universelle. Nous avançons à grands pas vers l'époque où il sera aussi honteux de ne point avoir une teinture, au moins superficielle, des sciences physiques et naturelles, qu'il le serait maintenant de ne pas savoir lire et écrire.

D'Aguesseau, qui, dans l'éducation de son fils, prescrit celle du magistrat accompli, de l'homme du monde tel qu'il devrait être, veut que leurs connaissances soient universelles; il ne veut pas que l'étude des lois, si elle doit être la principale pour le jurisconsulte, puisqu'elle sera l'objet de ses applications, soit la seule qui fixe son attention; il ne veut pas que, sorti de son cabinet, au milieu des autres classes de la société, il soit réduit au silence. D'ailleurs, il savait qu'une vaste étendue de connaissances peut seule donner de la généralité dans les idées, de la fixité dans le jugement, de la promptitude dans les aperçus : ce sont ses préceptes que nous avons tâché de suivre. Des conseils si sages, si importans, ne pouvaient demeurer sans fruit, et peu à peu on en vint à considérer l'étude

des sciences comme le complément nécessaire de l'éducation ; enfin l'instruction publique elle-même mit en France le sceau à cette vérité, en plaçant les sciences physiques au nombre des sujets d'examen des jeunes candidats au baccalauréat.

Mais le cercle des connaissances s'agrandit sans cesse, il est impossible à l'homme de l'embrasser dans toute son étendue d'une manière approfondie ; la durée entière de la vie serait insuffisante pour parcourir une carrière aussi immense. Chacun selon son goût, selon sa position, choisit donc le sujet qui doit être l'objet de ses recherches, le but principal de ses travaux, l'occupation essentielle ou utile de sa vie; celui-là, il l'approfondit, il en fait l'objet de ses méditations et de ses investigations ; il veut connaître toutes les opinions, tous les écrits qu'il a fait naître; en un mot, il en parcourt tous les détails. Mais doit-il se borner à cette étude spéciale et négliger toutes les autres connaissances? pourra-t-il même atteindre dans une seule science un haut degré de savoir, s'il n'a jeté un coup d'œil rapide sur les autres? Depuis Bacon, on l'a bien souvent dit, et c'est une vérité devenue triviale, que toutes les connaissances humaines forment un vaste cercle composé de chaînons intimement unis et auquel on ne peut trouver ni commencement ni fin. Celui qui veut limiter ses travaux à une seule science n'en doit donc pas moins parcourir rapidement toutes les

connaissances qui se lient à son sujet par des rapports plus ou moins éloignés. Que serait le médecin, le cultivateur, sans l'appui des connaissances chimiques? un praticien aveugle, incapable de sortir lui-même des ornières de la routine? Que deviendrait le marin, le militaire, dans leurs courses lointaines, dans des climats à peine connus, sans le secours de l'astronomie qui guide leur marche, de l'histoire naturelle qui leur enseigne les moyens de soutenir leur existence? enfin, qui peut négliger les lois de la physique, cette science qui fait connaître les actions, les forces, les influences, les changemens des corps avec lesquels nous sommes sans cesse en contact immédiat?

D'après cela, comment expliquer que de grands savans, et entre autres un de ceux qui ont fait faire à la physique d'importans progrès, aient pu proscrire les livres élémentaires, aient osé nier l'utilité, les avantages, la nécessité même des abrégés? Combien ne doit-on pas regretter que ces savans n'emploient point quelques unes de leurs veilles à l'exposition élémentaire de la science, ne daignent point initier la multitude à leurs doctes travaux! Est-ce donc pour eux qu'il est nécessaire de s'envelopper de mystères, de ne parler que pour des adeptes? est-ce véritablement chercher à se rendre utiles? Dans leur silence à cet égard, il appartient à leurs élèves de remplir cette lacune, autant que leurs forces

le leur permettent ; imbus des préceptes de ces grands maîtres, ils doivent tâcher de les mettre à la portée de tous, de faire jouir tout le monde de leurs travaux et de leurs découvertes. Si celui qui voudra reculer encore les limites de la science, si celui qui voudra faire de l'étude de la physique sa principale occupation, ne trouvait pas à se satisfaire dans de tels ouvrages, qu'il se rappelle que ce n'est point à lui qu'ils s'adressent, mais que leur destination est de donner aux autres uue idée exacte de cette science, en leur offrant un résumé de ce qu'elle renferme de plus important ; qu'ils sachent que le but de leurs efforts est de permettre à tous de ne point être étrangers aux véritables explications des phénomènes qui se renouvellent à chaque instant sous leurs yeux, qu'ils seraient aussi flattés de contribuer quelque peu à faire aimer les sciences et à les faire cultiver plus universellement. Eh ! qu'on ne craigne pas que la science exposée de la sorte, dépouillée de ses détails trop techniques et de son langage mathématique, diminue la profondeur des idées, porte à la véritable instruction un coup mortel ! Ceux qui, d'après leur position, pourront ou voudront approfondir la science, ne se contenteront pas d'aperçus généraux, ils voudront chercher ailleurs les détails des phénomènes, les corollaires des principes, les preuves de ce qu'ils ont appris ; ils ne verront dans des élémens qu'un guide qui leur

indique les sources les plus abondantes où ils pourront puiser. Quant à ceux dont les occupations habituelles ne peuvent s'allier avec une étude profonde des sciences qui y sont plus ou moins étrangères, c'est en vain qu'on voudra leur en faire chercher la connaissance dans des ouvrages volumineux, abstraits, qui réclament une forte attention; ils aimeront mieux demeurer ignorans qu'acheter la science à ce prix, lors même que le temps qu'ils peuvent y donner serait suffisant; nouvelle condition difficile pour plusieurs.

Le but de ces Élémens est donc d'offrir un abrégé de la physique, telle que ce mot est limité, développé, défini dans l'Introduction. Donner aux gens du monde, aux personnes qui dirigent leurs recherches vers une autre branche des connaissances humaines, à tous ceux qui veulent avoir une teinture de la science, une idée assez exacte, une explication assez complète des phénomènes naturels, faire cet exposé aussi clairement, aussi simplement que possible, sans le secours des mathématiques, en s'appuyant seulement du raisonnement et de l'expérience, tel a été le but constant de nos efforts.

Nous avons aussi espéré être pour les jeunes gens d'une utilité plus spéciale, en leur offrant un Manuel propre à les diriger dans la bonne voie, en leur fournissant un guide qui leur indiquera les meilleures sources où ils pourront puiser. Ils pourront aussi consi-

dérer ce résumé comme une analyse des cours qu'ils suivent, et par là se dispenser de recueillir des notes, travail indispensable sans ce secours, mais qui n'est pas sans inconvénient, puisqu'il fait souvent mal saisir l'expression du professeur, et peut ainsi quelquefois égarer par les erreurs qui s'y glissent fréquemment. Enfin, à l'aide de ces élémens, tous ceux qui doivent être soumis à un examen qui ne roule que sur les généralités de la science (1), pourront s'y préparer d'une manière plus prompte, moins pénible et peut-être moins désagréable.

Enfin, malgré son extrême concision, nous avons cherché à rendre ce petit Traité de physique à peu près général, et à comprendre l'état actuel de la science dans toutes ses branches d'une manière aussi complète que possible. S'il a fallu sacrifier aux limites de l'espace la longueur des détails et la multitude des applications, nous avons tâché de mettre le lecteur attentif en état de les voir sortir naturellement des principes généraux, et d'en donner lui-même l'explication. De nombreuses figures serviront encore à l'intelligence du texte, et donneront une idée des principaux instrumens et des machines les plus employées en physique. Nous avons surtout considéré comme un devoir d'exposer la science telle qu'elle est maintenant chez les savans et non dans les livres qui

(1) Comme celui de bachelier ès lettres.

datent de quelques années, et par conséquent de mettre cet abrégé au niveau des découvertes les plus récentes. Aussi, en traitant de la lumière, avons-nous fait à tous les phénomènes qu'elle présente l'application complète de la nouvelle théorie des vibrations : c'est un exposé, malheureusement trop abrégé, mais entièrement neuf, puisque cette théorie n'est développée que par portions souvent indépendantes les unes des autres, dans des mémoires séparés, par des savans différens, et que nulle part on n'a cherché à l'appliquer complétement à l'explication des phénomènes de la chaleur et de la lumière. Peut-être même cette partie de notre travail aurait-elle été jugée de quelque importance, si nous avions pu lui donner tout le développement que nécessite l'établissement d'une nouvelle théorie, si nous avions pu l'étayer des nombreuses preuves, des analogies multipliées qui lui donnent de toute part l'apparence de la vérité, si surtout nous avions été capables de l'exposer convenablement.

INTRODUCTION

A L'ÉTUDE DE LA PHYSIQUE.

L'ÉTUDE de la physique, prise dans l'acception étymologique, comprend celle de la nature entière (1), et c'est ainsi que l'entendaient les anciens, qui, prenant pour bases des sciences, plutôt leur imagination et une observation superficielle que l'analyse approfondie des phénomènes, aidée des expériences et du froid examen de la raison, ne craignaient point d'embrasser la nature entière dans le jet immense de leurs pensées. Aussi leur physique était-elle plutôt des systèmes de cosmologie où ils cherchaient à expliquer la nature des choses, et tout ce qui se passe autour de nous, au moyen de quelques suppositions, que des recherches sur les propriétés des corps. C'est ainsi que dans Thalès, Pythagore, Démocrite, nous ne trouvons autre chose que des idées spéculatives sur la nature, mêlées à des systèmes métaphysiques, et accompagnées, comme par hasard, de quelques déductions tirées de phénomènes mal observés, et par conséquent plus ou moins erronées. Aristote

(1) Du grec φύσις, *nature*.

même, qui est sans doute le premier physicien, comme le premier naturaliste et le premier philosophe de l'antiquité, prouve, dans sa Physique, que les anciens ignoraient la plupart des phénomènes dont l'étude et l'explication forment le domaine de cette science. Ainsi, sans parler des phénomènes du son, de la lumière, de l'électricité, du magnétisme, sur lesquels leurs notions étaient si fausses, ou pour mieux dire nulles, l'idée du plein et du vide, la pesanteur et la pression de l'air, la formation des vapeurs aqueuses, les effets de la variation de la température dans les corps, ou leur dilatation et leur contraction, et beaucoup d'autres parties de la science qui sont maintenant aussi bien observées que clairement expliquées, étaient entièrement ignorées de ce peuple grec, qui, dans les arts d'imagination, la poésie, l'éloquence, les beaux-arts, nous a laissé tant de modèles. Que les littérateurs et les artistes étudient donc les anciens; pour les savants, c'est chez les modernes qu'ils trouveront une mine féconde à exploiter.

Lorsque l'Europe commença à sortir de l'obscurité du moyen âge, quelques médecins naturalistes furent les premiers qui tentèrent de faire renaître les sciences physiques; mais, d'un côté, égarés par l'exemple et la marche des anciens, et de l'autre, encore imbus des idées ridicules de l'astrologie et de l'alchimie, ces premiers savans bâtirent aussi des systèmes sur le sol mobile des hypothèses et avec

les matériaux dénués de solidité qu'ils tiraient de leur seule imagination. Enfin l'impulsion de grands génies, tels que Bacon et Descartes, vint changer la face des sciences; les idées systématiques furent abandonnées pour les recherches d'expérience; on sentit qu'il fallait accumuler les observations pour en déduire des conséquences, les faits pour en voir jaillir des lois générales; une nouvelle ère commença pour l'esprit humain.

C'est à cette époque de régénération que Galilée découvre les lois de la pesanteur, démontre que la terre tourne, construit les télescopes qu'un inconnu venait de découvrir, ces instrumens admirables qui nous font pénétrer dans l'immensité des espaces; c'est à cette époque que Torricelli, élève de Galilée, invente le baromètre et prouve le vide, que Kepler détermine la marche, la distance, les révolutions des astres, en reconnaît les lois. L'impulsion était donnée et elle ne pouvait demeurer stérile, la découverte de l'attraction et de toutes ses conséquences en fut le premier résultat : cette découverte et ses admirables travaux sur l'optique et la lumière, placeront toujours Newton à la tête des physiciens les plus illustres, et seront toujours des modèles d'analyse et d'étude; si les hypothèses que lui-même donnait pour telles peuvent être renversées, ses observations demeureront toujours comme un monument de son génie. C'est certainement cet illustre savant qui a donné aux

sciences la direction vraiment utile qu'elles ont prise ; c'est lui qui a démontré que la recherche des faits, l'observation des phénomènes, l'expérience, en un mot la voie de l'analyse, étaient le chemin des découvertes; et c'est en suivant une route si bien tracée que les savans modernes avancèrent à pas de géans dans l'étude de la nature, et parvinrent enfin à fonder les théories qui, s'appuyant de toutes les observations, basées sur l'explication qu'elles donnent de tous les faits connus, sont des guides qui soulagent la mémoire, facilitent l'étude, préparent les découvertes, vont au-devant des expériences.

En effet, les temps sont changés ; dans l'enfance de la science, les faits observés étaient trop peu nombreux pour baser aucune théorie probable : bâtir des systèmes, c'était détourner l'esprit de la route des découvertes. Maintenant que les observations s'accumulent, que les faits se groupent, se lient par des rapports, il est nécessaire d'en former un faisceau ; les faire découler de quelques principes généraux, ce n'est plus s'appuyer sur une base sans solidité, c'est proposer des explications fondées sur les rapports des choses, sur les conséquences des phénomènes, c'est faciliter les découvertes, c'est hâter la solution définitive du problème.

Voyons maintenant comment se partage l'étude de la nature, afin de connaître l'objet spécial de la physique ; nous jetterons ensuite

un coup d'œil rapide sur la disposition des matières dans cet ouvrage.

Toutes les sciences se tiennent, et c'est en vain que l'homme, pour faciliter l'étude de la nature, l'a partagée en plusieurs champs et a tenté d'en fixer les limites d'une manière certaine ; leurs rapports sont tellement étroits que, pour les exploiter, il est indispensable de faire à chaque instant des excursions de l'un dans l'autre, et ce n'est sans doute que quand on les a tous parcourus en entier qu'on peut avoir d'un seul une connaissance approfondie.

Cependant, le partage des sciences en plusieurs domaines n'en est pas moins utile sous le rapport de la facilité de l'étude : les méthodes, les divisions, les classifications, reposent l'esprit, fixent la mémoire des faits et des théories, facilitent le classement des observations, conduisent aux découvertes : ce sont des moyens artificiels, mais qu'on doit respecter puisqu'ils sont indispensables à la faiblesse de notre intelligence. C'est ainsi qu'à mesure que le champ des découvertes s'agrandit, à mesure que les limites de chaque science reculent, on y forme de nouvelles coupures, de telle sorte que l'étude de la nature, qui d'abord ne fut partagée qu'en trois branches, forme maintenant peut-être plus de vingt rameaux qu'on étudie à part, malgré leurs liaisons intimes, malgré leur origine commune, et sans doute bientôt la physique elle-même formera plu-

sieurs sciences, qui, telles que la lumière, l'électricité, l'acoustique, seront traitées à part. Mais bornons-nous aux principales divisions scientifiques, et, en indiquant le but de chacune, nous verrons ce qui forme réellement le domaine de la physique spéciale.

L'étude des corps qui nous entourent dans leurs rapports les plus intimes, dans les propriétés qui ne se manifestent que de molécules à molécules, les moyens de mettre en jeu ou d'arrêter les effets de ces actions, de ces affinités électives, composent la *chimie;* l'histoire naturelle, qui classe, décrit, étudie les corps organiques et inorganiques, les corps bruts et vivans, ainsi que leur organisation, a reçu maintenant tant d'extension qu'il est impossible de la traiter sous ce point de vue général : ainsi, tantôt on considère les corps bruts en grande masse, et tels que la nature nous les offre, on recherche leurs rapports de superposition, et par conséquent d'ancienneté, c'est le but de la *géologie;* tantôt on étudie les mêmes corps dans leurs formes, leurs aspects, leurs propriétés élémentaires, on les classe par genres, par familles, c'est la *minéralogie*. Il en est de même pour les êtres vivans, qu'on partage d'abord en deux classes, les végétaux et les animaux, pour subdiviser encore chacune d'elles en plusieurs autres : ainsi tantôt on recherche les lois de l'organisation et de la vie, la constitution et les fonctions des organes des plantes, c'est le

but de la *physiologie* et de l'*anatomie végétale*. Tantôt on cherche les rapports de ces êtres pour les classer naturellement ou artificiellement, pour les reconnaître, les décrire, pour fixer la nomenclature de la science, c'est l'objet de la *botanique*. Tantôt on étudie ces corps sous les rapports d'utilité ou d'agrément qu'ils peuvent offrir à l'homme, et alors la science prend le nom d'*agriculture*, d'*horticulture*, etc. Des divisions analogues, encore plus nombreuses, se rencontrent dans le règne animal, au haut duquel arrive l'étude de l'homme, d'abord dans sa nature physique, ce qui comprend la *médecine* et toutes les sciences qui en dépendent; ensuite dans sa nature morale, ce qui renferme la *philosophie*, la *métaphysique*, la *psychologie;* dans sa condition sociale, ce qui comprend la *morale*, la *législation*, l'*économie publique*, etc., etc.

Ainsi on voit qu'un passage insensible conduit d'une science à l'autre; on reconnaît que sans cesse elles empiétent de toutes parts sur leurs voisines, sans cesse mille rapports de connexion forment de l'étude de la nature un vaste tout, un cercle immense qu'on est forcé de parcourir en entier dès qu'on y a pénétré. Mais d'autres sciences sont encore des chaînons plus voisins de la physique; on les réunit même quelquefois sous le nom de physique générale, mais nous devons les écarter de l'objet spécial de nos recherches.

L'étude des corps qui peuplent les espaces,

leur marche, leur distance, leurs révolutions, leur constitution et leur nature, leurs actions sur les autres corps et sur notre globe en particulier, forment le domaine de l'*astronomie*. L'étude des phénomènes qui se passent dans l'atmosphère, des modifications qu'il éprouve, des mouvemens qu'il exécute, forme la *météorologie*. Celle des phénomènes qui se rencontrent à la surface du globe, des révolutions de tout genre qui s'y succèdent, est l'objet de la *géographie* et de l'*hydrographie*. Enfin d'une part la science des machines qui comprend l'*hydraulique*, l'*hydrostatique* et l'*aérostatique*, s'appuie et est le développement de la *mécanique;* tandis que, d'une autre part, toutes les sciences physiques dont nous venons de parler empruntent le secours et offrent de nombreuses applications des *mathématiques*, qui comprennent principalement l'*arithmétique*, l'*algèbre*, la *géométrie*, le *calcul différentiel et intégral*.

Cette analyse rapide, nécessaire pour fixer les idées sur ce qui doit être l'objet de notre étude, et pour montrer les points de contact de la science qui nous occupera avec les autres branches des connaissances humaines, détermine d'une manière précise le but de la *physique spéciale*, et nous met en état d'en donner une définition exacte : c'est la science qui étudie et fait connaître les propriétés générales des corps, et leurs actions réciproques les uns sur les autres. Ainsi, abandon-

nant à la chimie les recherches sur les propriétés intimes, sur les affinités élémentaires des corps, laissant à l'histoire naturelle le soin de faire connaître l'organisation, les fonctions, les rapports des êtres considérés comme individus, la physique embrasse les propriétés générales de la matière à l'état solide, liquide, fluide aériforme et fluide impondérable, recherche et étudie les phénomènes et les lois de leur action et de leur mouvement sous ces différens états. Cette science est donc la base de toutes les autres, elle est le fondement de l'étude de la nature. S'il est une branche des connaissances humaines indispensable à connaître, c'est bien la physique, puisqu'elle enseigne le mode d'action d'agens que nous rencontrons partout, à l'influence desquels nous ne pouvons nous soustraire, enfin que dans toutes les circonstances il faut apprécier, afin d'en tirer parti ou d'en combattre les effets. Donnons maintenant un aperçu de la marche que nous avons adoptée dans cet ouvrage; ce sera en même temps un exposé rapide de ce que comprend la science, et de ce qu'elle doit aux savans qui l'ont illustrée par leurs travaux et leurs découvertes.

Tous les corps de la nature possèdent certaines propriétés, sont soumis à certaines forces, qui offrent bien quelques modifications selon leur état particulier, mais qui cependant leur sont communes, et que, par cette

raison, on appelle générales : nous les exposerons dans un premier Livre. Nous reconnaîtrons successivement que les corps sont matériels, qu'ils occupent un lieu, ont une figure, par conséquent sont étendus; nous citerons des exemples remarquables, qui prouveront combien est grande la divisibilité dont ils sont susceptibles, et cependant, pour plusieurs d'entre eux, combien la force de cohésion qui retient les molécules unies ensemble est encore puissante, malgré cette division extrême; nous reconnaîtrons que deux corps ne peuvent occuper en même temps le même espace; par conséquent que l'impénétrabilité est une propriété générale de la matière, et que si dans tant d'occasions les corps paraissent se pénétrer, ce phénomène est produit par le déplacement des molécules, et est une preuve de la porosité, c'est-à-dire des intervalles vides qui existent entre les molécules élémentaires; nous verrons ensuite que l'élasticité, qui dépend des forces qui animent les corps et de leur porosité, est aussi une propriété générale; elle servira à nous donner quelques notions sur la constitution des corps et sur les causes des différens états sous lesquels ils s'offrent à nous.

Ces propriétés sont simples, faciles à saisir et à concevoir; nous devrons donc les traiter brièvement; mais l'importance des phénomènes qu'elle produit nous obligera de fixer plus long-temps l'attention sur cette pro-

priété, en vertu de laquelle tous les corps sont sollicités les uns vers les autres par un attrait de sympathie invincible, et par suite ne formeraient bientôt plus qu'une seule masse, sans l'intervention d'un principe répulsif qui, par sa présence, par ses variations de puissance dans les corps, par les combats qu'il livre sans cesse à la force de sympathie, tantôt vainqueur, tantôt vaincu, entretient partout le mouvement, l'organisation et la vie. Nous étudierons donc d'abord les lois de l'attraction à distance, c'est-à-dire celles de la pesanteur et de la chute des corps, les variations qu'elles présentent, les machines qu'elles ont fait naître; ensuite nous rechercherons les effets physiques de l'affinité ou attraction moléculaire, ce qui comprendra l'étude des phénomènes capillaires et du frottement; et nous tâcherons d'en faire concevoir les causes, en exposant la savante théorie de l'illustre auteur de la mécanique céleste, ainsi que les conséquences qu'il en tire sur la constitution probable des corps.

L'inertie est la dernière propriété générale que nous aurons à étudier; nous en verrons découler toutes les lois du repos et du mouvement; nous y trouverons l'explication des différens modes d'action des forces motrices, de leur intensité, de leur direction, ce qui nous donnera l'idée de la vitesse, du temps et de sa mesure, de l'équilibre, des mouvemens simples ou composés, etc., etc.

Après avoir considéré de la sorte les propriétés communes à tous les corps matériels, nous étudierons celles qui leur sont particulières en raison de l'état qu'ils affectent. Les propriétés des corps que nous pouvons palper, peser, mesurer, et les actions qui en dépendent, seront donc le sujet du second Livre. Nous nous occuperons d'abord des solides, et après avoir recherché les causes de leurs agrégations, tantôt régulières, tantôt irrégulières, ce qui nous donnera quelques idées sur l'arrangement intime des molécules et sur la constitution des cristaux, après avoir jeté un coup d'œil rapide sur les différences qu'ils présentent dans leurs propriétés les plus intrinsèques, en sorte qu'on pourrait appeler les uns très solides, les autres demi-solides, etc, nous ferons connaître les conditions de leur équilibre et les applications mécaniques qui en sont le résultat; nous exposerons les moyens de mesurer leur pesanteur spécifique, nous considérerons les lois de leur dilatation par la chaleur, de leur contraction par le froid, et enfin nous les verrons à mesure que le calorique se développera en eux, devenir de moins en moins solides, et passer enfin à l'état liquide.

Nous occupant désormais de ce second état des corps, après quelques considérations générales sur la liquidité, nous démontrerons la compression et l'élasticité des liquides: leur dilatation, qui nous conduira à la décou-

verte des thermomètres, comme celle des solides nous aura fait découvrir les pyromètres, les lois de l'équilibre et du mouvement des liquides, et des corps qui flottent à leur surface ou dans leur masse, la mesure de leur pesanteur spécifique, ce qui comprend l'aréométrie, seront successivement l'objet de nos recherches. Enfin, de même que nous aurons vu les solides, par une accumulation de calorique, changer d'état et devenir liquides, de même nous verrons ceux-ci se transformer petit à petit en vapeurs, et enfin, arrivés au terme où leur force élastique fait équilibre à la pression de l'atmosphère, entrer en ébullition, c'est-à-dire employer toute la chaleur dont ils sont pénétrés à passer à l'état de fluide aériforme.

Quant à ceux-ci, nous en reconnaîtrons de deux sortes : les uns sont permanens, c'est-à-dire que nous ne pouvons les faire changer d'état ; ce sont les gaz ; les autres se transforment en liquides sous nos yeux ; ce sont les vapeurs ; mais on conçoit que ces propriétés ne sont que relatives aux moyens que nous pouvons employer : aussi verrons-nous MM. Davy et Faraday parvenir à liquéfier des fluides aériformes qu'on avait jusqu'alors considéré comme permanens. Mais comme nous ne considérons les corps que dans leurs propriétés physiques naturelles, nous adopterons cette division des fluides élastiques, et nous étudierons d'abord la formation des vapeurs,

leur tension dans le vide ou dans les gaz, enfin leur mélange dans l'air, ce qui constitue l'hygrométrie. Nous verrons les travaux de deux de nos plus habiles physiciens, MM. Gay-Lussac et Dalton, jeter le plus grand jour sur ces matières difficiles. Dans l'étude des gaz, nous nous occuperons en premier lieu de la pesanteur de l'air et de la pression de l'atmosphère, que nous mesurerons au moyen du baromètre, l'un des instrumens les plus importans en physique; nous chercherons aussi à mesurer la densité de ces corps légers qui devaient nécessairement être refoulés à la surface du globe; nous verrons que ces corps, chez lesquels tout lien d'affinité est rompu, jouissent comme tous les autres, mais à un bien plus haut degré, de la propriété d'être dilatés par la chaleur et contractés par le froid, enfin qu'ils sont éminemment compressibles et élastiques, et nous nous servirons de ces proprietés pour construire les machines pneumatiques, les pompes, les aérostats.

Nous aurons le regret de ne pouvoir aborder l'étude de la composition, des mouvemens, des variations de l'atmosphère, où nous aurions pu être si bien guidés par les belles recherches, les vues élevées d'un illustre professeur, qui enrichit de découvertes importantes toutes les sciences dont son génie cherche à reculer les limites : ce n'est pas seulement comme astronome que M. Arago est

un de nos savans les plus illustres; la physique et la chimie lui sont aussi redevables de progrès essentiels, et dans ses cours, il fait profiter ses élèves des fruits de ses travaux. Dans plus d'une occasion ils éclaireront notre marche; mais ici ils appartiennent à une autre science, la météorologie, trop vaste pour y tenter aucune excursion.

Dans ce second Livre, nous considérerons enfin l'air et les corps comme véhicules du son : un ébranlement est produit dans un corps élastique, et aussitôt il se propage de proche en proche à travers tous les corps environnans également élastiques, en diminuant d'intensité, et en modifiant son action en raison de la densité, de l'élasticité, de la nature des milieux qu'il traverse. Telles sont les considérations qui nous donneront la connaissance de la formation, de la propagation, de la transmission du son, enfin de leur nature et de leurs qualités. Nous verrons la théorie de l'acoustique déjà établie depuis long-temps sur des bases certaines, mais principalement redevable aux belles recherches de Chladni, acquérir chaque jour, par les travaux des Biot, des Savart, etc., plus de développement et de certitude.

Le troisième Livre sera consacré à l'étude d'agens tout-à-fait à part, qu'on ne peut ni saisir, ni mesurer, ni peser, que, par cette raison, on pourrait être tenté de déclarer immatériels, s'ils ne manifestaient sur les

autres corps des actions d'une grande énergie, une puissance invincible; ce sont les fluides impondérables, nom sous lequel on réunit les agens, causes primitives de la chaleur, de la lumière, de l'électricité et du magnétisme. Que leur puissance sur les autres corps de la nature soit immense, que leur présence soit indispensable à la conservation et à l'entretien de l'ordre admirable qui règne dans l'univers, tant dans le monde inanimé que dans le monde vivant, c'est ce dont on ne peut douter lorsqu'on est témoin de leurs effets sans cesse renaissans, de l'importance des fonctions qu'ils remplissent. Qu'ils soient même la cause primitive des formes diverses qu'affectent les corps, qu'ils soient les agens principaux de l'organisation et de la vie, c'est ce qu'il est peut-être permis de penser lorsqu'on réfléchit au rôle qu'ils paraissent jouer dans tous ces phénomènes; mais, quoi qu'il en soit, ce n'est point par leur étude directe que nous pourrons acquérir des notions sur leur compte; l'observation seule des actions qu'ils exercent, des phénomènes qu'ils produisent, pourra nous y conduire : heureusement ces effets sont si particuliers, que les notions que nous pourrons acquérir par ce moyen sur ces corps, ne seront guère moins complètes que si nous pouvions les palper, les peser, les mesurer. C'est ici que le génie de l'homme a montré toute sa puissance, toute la fécondité de ses ressources : à mesure

que ces êtres semblaient lui échapper, de nouveaux moyens d'investigation venaient les soumettre à son empire; à mesure que la nature semblait s'envelopper de voiles plus épais, l'homme, apprenant à diriger ses coups plus sûrement, parvenait à mettre à découvert quelques unes de ses parties; et si en ce moment elle présente encore une dernière résistance, une défense incertaine, cela ne servira sans doute qu'à manifester plus complétement le triomphe de celui qui sera parvenu à lui arracher son secret. Tout indique que nous approchons du terme de nos doutes à cet égard, et grâce aux travaux des savans de notre époque, qui dirigent principalement vers ce but leurs puissans efforts, la cause de tant de phénomènes aussi importans que curieux est sur le point de nous être révélée.

Dans un tel état de choses, il nous a semblé qu'il n'était plus permis, même dans un ouvrage élémentaire, de se traîner sur les pas de la routine, et d'exposer la science telle qu'elle est dans les livres. C'est un aperçu de la science telle que l'ont faite les physiciens modernes, telle qu'elle est en ce moment, qu'on a droit d'exiger; c'est cet exposé que nous nous efforcerons de présenter. Nous ne saurions ici trop manifester notre reconnaissance envers M. Arago, qui, en répandant la clarté et la conviction dans tout ce qu'il enseigne, comme la profondeur de son esprit investigateur, la puissance de son talent et

l'immensité de ses connaissances dans toutes les recherches auxquelles il se livre, nous a donné la pensée et les premiers moyens d'adopter une théorie qu'il appuie de son suffrage, qu'il soutient de ses travaux, qu'il a tant contribué à rappeler à l'attention des savans, dont il est enfin un des créateurs. Sans doute il est bien à regretter que ce soit un élève qui ait entrepris une si grande tâche, sans doute il est bien à regretter que cette exposition nouvelle soit tentée en premier lieu dans un traité élémentaire, où elle s'offrira nécessairement avec trop peu de développement; mais c'eût été tromper nos lecteurs que de leur présenter une théorie qui commence à chanceler, et de négliger celle qui s'élève sur ses ruines avec tant de supériorité, et cette considération a suffi pour lever tous nos doutes; cette tentative engagera d'ailleurs à diriger l'attention sur cette nouvelle étude; peut-être chercherons-nous par un travail particulier à suppléer à l'insuffisance des développemens qu'il nous est permis d'apporter ici.

Nous considérerons donc les phénomènes lumineux et calorifiques, électriques et magnétiques, comme le résultat des actions diverses d'un même fluide universellement répandu dans l'univers, mais susceptible d'affecter certains mouvemens, de subir différentes modifications. Ce système, émis d'abord par Descartes, et appliqué à la lumiere par Huy-

ghens et Euler, enseveli pendant long-temps par la puissance du génie et du nom de Newton, est désigné sous le nom de *théorie des ondulations* ou *des vibrations*, comme celui du grand homme que nous venons de nommer en dernier est appelé *théorie de l'émission* ou *des émanations*. Le premier paraissait entièrement abandonné, lorsque M. Th. Young, par des expériences inexplicables dans l'autre système, le rappela à l'attention des savans. Les physiciens français s'emparèrent avec empressement de cette nouvelle mine de découvertes, et MM. Arago et Fresnel pour la lumière, MM. Ampère, Arago, Œrsted, Becquerel et quelques autres pour l'électricité, par leurs brillantes découvertes, par leurs travaux, leurs expériences de tout genre, surent s'approprier une théorie née en d'autres mains, mais que les leurs devaient faire fructifier au-delà de toute espérance.

L'étude de la chaleur nous occupera d'abord; mais, réservant l'exposé de la théorie au chapitre de la lumière, où il pourra être plus complet et plus satisfaisant, nous nous bornerons à faire connaître les phénomènes sans remonter à leur cause : ainsi nous mentionnerons successivement les diverses sources du calorique, nous étudierons les lois de son développement et de sa propagation dans les différens corps, soit par contact, soit par rayonnement; enfin nous ferons connaître dans quelles circonstances une portion de la

chaleur paraît absorbée, combinée, devient latente, semble éteinte, pour reparaître avec une intensité tout-à-fait égale, lorsqu'un changement contraire a lieu. Sur cette matière difficile, les recherches de MM. Lavoisier et de Laplace, Leslie, Berard et Laroche, et celles toutes récentes et de la plus haute importance de MM. Dulong et Petit n'échapperont point à notre analyse.

Dans l'étude de la lumière, après avoir indiqué ses principales sources, exposé sa marche, mesuré sa vitesse, nous analyserons les phénomènes de diffraction ou d'inflexion de ses rayons, nous en verrons sortir la théorie des interférences de M. Young, et après l'avoir complétée par l'exposé des beaux travaux de MM. Fresnel et Arago, après avoir montré qu'elle explique complétement les phénomènes des anneaux colorés et des franges alternativement obscures et brillantes, nous nous en servirons pour expliquer tous les phénomènes de la lumière directe, réfléchie, réfractée : nous nous efforcerons de montrer qu'elle rend compte des phénomènes de la coloration des corps d'une maniere aussi simple que probable; enfin nous compléterons ce que nous avions à dire sur la lumière par l'exposé des phénomènes de la vision et la description des principaux instrumens d'optique, et nous terminerons en donnant une idée de la double réfraction et de la polarisation, qui, d'après des expériences toutes récentes, paraissent

apporter de nouvelles preuves en faveur de la théorie des ondulations. Nous ne pourrons malheureusement analyser les travaux des savans sur cet immense sujet, et nous aurons le regret de ne pouvoir nommer MM. Malus, pour ainsi dire le premier fondateur de cette branche de la physique, Arago, Biot et Brewster, dont le zèle infatigable a su lui donner tant de développement, l'enrichir de tant de découvertes.

Enfin l'électro-magnétisme formera le complément de l'étude de la physique. Il n'est plus maintenant permis de séparer des agens tels que l'électricité et le magnétisme dont l'identité est démontrée; un mot commun devait donc indiquer ces rapports intimes, cette liaison complète. Pour ne rien omettre d'essentiel dans cette branche importante et curieuse de la science, après avoir jeté un coup d'œil sur les théories de Dufay, de Symmer, de Franklin, pour savoir laquelle nous devions adopter, nous examinerons dans quelles circonstances les phénomènes se produisent, par quels moyens on est parvenu à s'en rendre maître, à les analyser, à les mesurer; nous verrons que la foudre et le tonnerre ne sont que des effets énergiques que nous pouvons imiter en petit dans nos appareils; nous indiquerons les moyens de se garantir de leur action dangereuse. La pile de Volta nous présentera un puissant moyen d'analyse chimique : ses effets, qu'on désignait autrefois sous

le nom de galvanisme, nous donneront quelques notions sur l'électricité naturelle que manifestent un grand nombre de corps dans certaines circonstances : les découvertes de Galvani, de Volta, celles plus récentes de M. Davy, de M. Becquerel, devront spécialement nous arrêter. Enfin les phénomènes des courans électriques, qui ont fait découvrir l'identité du magnétisme et de l'électricité, fixeront notre attention ; et nous terminerons par l'exposé des effets de l'aimant et des corps aimantés, ainsi que du magnétisme du globe, qui ne sont autre chose que le résultat de ces courans électriques existant, soit dans certains corps, soit dans le globe terrestre, courans que nous verrons soumis à quelques variations déterminées, et sans doute à quelques périodes de révolution. Cette dernière partie de la science, qui a entièrement changé de face depuis quelques années, a été créée principalement par les travaux de MM. OErsted, Ampère et Arago, et cependant a déjà atteint un degré de certitude et de perfection dont on ne saurait trop être surpris, si ce n'était le résultat ordinaire des recherches qui tombent entre les mains de tels savans.

MANUEL

DE

PHYSIQUE.

LIVRE PREMIER.

DES PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES CORPS.

1. Il appartient à la philosophie universelle et à la physique générale de rechercher par quelles lois primordiales, par quelles propriétés l'ordre admirable que l'univers offre à nos yeux s'est formé, perfectionné, conservé d'âge en âge, pour arriver sans doute, dans la suite des siècles, à une destruction totale ou partielle. Sans élancer nos regards hardis sur les causes premières, qui, pour des êtres comme nous doués de la faculté de connaître seulement par comparaison et d'une manière relative, demeureront peut-être toujours enveloppées d'un nuage épais, du moins resteront encore long-temps, d'après l'état actuel des choses, dans le domaine des suppositions, des hypothèses, des systèmes, ces recherches pourraient peut-être faire reconnaître, dans la matière, dans les combinaisons qu'elle exécute, les formes qu'elle affecte, des propriétés plus générales que celles qui dé-

coulent immédiatement des observations, et conséquemment amener à l'explication d'un plus grand nombre de phénomènes naturels. Mais, ainsi que nous l'avons vu dans l'Introduction, ces discussions ont été abandonnées à la philosophie spéculative, et les sciences basées sur des fondemens inébranlables, c'est-à-dire sur l'expérience des faits et l'observation des phénomènes, se sont bornées à poser çà et là, dans ce champ immense, quelques jalons éloignés, entre lesquels le savant qui tente de le mesurer n'aperçoit pas des rapports bien certains, une liaison intime. Les savans les plus instruits et les plus recommandables, ceux qui ont imprimé aux sciences la marche la plus rapides, qui leur ont fait faire les plus grands progrès, ont reculé à l'aspect de ces questions très curieuses, très attrayantes à l'esprit, mais trop incertaines pour satisfaire la raison, enfin ils les ont entièrement bannies du domaine de la physique spéciale, objet de nos études. C'est donc sur l'exemple des Biot, des Haüy, des Gay-Lussac, etc., nos guides et nos maîtres, que nous nous appuyons pour écarter, dès notre entrée dans la carrière, ces questions si débattues par les philosophes, résolues de tant de manières différentes. Nous limiterons nos recherches à l'observation attentive des phénomènes et aux conséquences qui en découlent, dans l'étude que nous allons faire des propriétés les plus générales que les physiciens modernes ont reconnues dans les corps d'une manière certaine.

2. Nos sens nous avertissent de la présence et de l'action des objets qui nous entourent : la *matérialité* est donc une première propriété générale des corps. On ne peut concevoir d'objet matériel qui n'ait une figure, un forme quelconque ; qui n'occupe un lieu, un espace ; en un mot, qui ne soit étendu : l'*étendue absolue* qui donne l'idée de

l'infini, l'étendue relative qui détermine la figure des corps, sont donc une seconde propriété générale. Mais tout corps qui occupe un espace, quelque petit qu'il soit, peut nécessairement, du moins par la pensée, être partagé en plusieurs fragmens; la *divisibilité* sera donc la troisième propriété générale. Il est évident que deux corps ne peuvent occuper en même temps le même espace; mais, d'un autre côté, l'expérience même prouve que les corps ne sont pas composés par l'assemblage d'une matière continue et homogène, mais sont tous plus ou moins criblés de pores : l'*impénétrabilité* des molécules élémentaires, la *porosité* des corps composés peuvent donc être considérées comme une quatrième propriété générale. De ce que l'état naturel des corps composés est d'être poreux, il résulte que s'ils sont comprimés, étendus d'une manière quelconque, ils tendront plus ou moins, dans certaines limites, à revenir à leur premier état : l'*élasticité* est donc encore une propriété générale; nous en parlerons dans un cinquième chapitre. L'observation a fait reconnaître que tous les corps sont sollicités les uns vers les autres par un attrait invincible, sont soumis à une force qui paraît inhérente à leur nature, malgré qu'elle offre des modifications dans sa manière d'agir; l'*attraction* et la *pesanteur* forment une sixième propriété générale. Enfin tous les corps sont, par rapport les uns aux autres, dans un état de repos ou de mouvement, état dépendant de leur action mutuelle, des circonstances où ils sont placés, de la nature de leur composition, enfin d'une multitude de causes dont les lois ont des applications innombrables dans les sciences et les arts, et dont la connaissance est aussi nécessaire que curieuse pour le physicien : le *mouvement* et l'*inertie* seront la septième et dernière propriété générale des corps que nous étudierons.

Il nous a semblé qu'aux propriétés générales que nous venons d'exposer, se rapportaient toutes celles que certains physiciens ont reconnues, et qu'elles seules étaient réellement distinctes et séparées. La *ductilité*, la *flexibilité*, la *coercibilité*, la *tenacité*, la *capillarité*, la *densité*, le *frottement* et quelques autres, trouveront donc leur place dans l'une ou l'autre des divisions que nous venons de tracer.

CHAPITRE PREMIER.

DE LA MATÉRIALITÉ.

3. Les philosophes, tant anciens que modernes, se sont épuisés en discussions peu philosophiques, en vaines subtilités, dans la tentative de connaître non seulement quelle est l'essence de la matière, mais encore si son existence est suffisamment démontrée aux yeux de la raison. Deux causes devaient nécessairement les égarer dans ce dédale de suppositions et d'hypothèses que chacun d'eux élevait à grands frais pour les voir renverser par ses adversaires : le flambeau de l'expérience n'était point leur guide, et ils cherchaient à remonter aux causes premières, destinées à nous être inconnues peut-être éternellement. Aussi les vrais observateurs de la nature se gardèrent-ils bien de les suivre dans ces voies obscures, et ils se contentèrent de chercher par leurs travaux à remplacer les suppositions par les observations, les hypothèses par les faits, les systèmes par les conséquences des expériences, l'erreur par la vérité.

Déjà les anciens philosophes grecs s'étaient occupés de la question de l'existence de la matière ;

et, ne pouvant en apporter aucune autre preuve directe que l'avertissement de leurs sens, sujets à errer, plusieurs d'entre eux doutèrent que la matière fût autre chose que des apparences. Cette opinion fut renouvelée par quelques modernes, et Buffon même, le grand Buffon, n'osa la proclamer absurde : mais la plupart, admettant l'existence de la matière comme suffisamment prouvée, se livrèrent à de nouvelles recherches pour en déterminer l'essence et la forme. Nous n'entreprendrons pas d'analyser tous les systèmes inventés dans ce but ; ils sont aussi nombreux que les savans qui ont écrit sur cette matière, et ce serait sortir entièrement de notre plan ; d'ailleurs il n'en est que deux qui aient conservé quelque faveur auprès des physiciens modernes. L'un, plus particulièrement adopté en France, considère les corps comme l'assemblage d'une multitude de molécules infiniment déliées, laissant entre elles plus ou moins d'espace ; l'autre, plus généralement suivi en Allemagne, regarde les corps comme une masse de matière continue, mais essentiellement compressible et dilatable en vertu des forces qui agissent sur elle.

4. Mais, nous le répétons encore, la physique spéciale doit rejeter ces questions. Toute hypothèse qui n'est point basée sur l'expérience doit être bannie de son domaine, si ce n'est lorsqu'elle peut servir à représenter les phénomènes à l'esprit d'une manière plus claire. Dans l'étude qui nous occupe, l'observation attentive des faits ayant fait reconnaître que certains corps semblaient agir sur d'autres, leur imprimer des mouvemens, les soumettre à leur influence, leur faire éprouver des changemens, le vrai physicien, d'après cet avis à lui donné par ses sens, a dû conclure que ces corps étaient matériels, mais il a dû s'arrêter là : toutes les fois que l'expérience ne lui démontrait pas le contraire, il ne devait pas supposer que ce qu'il

voyait, ce qu'il entendait n'existait pas, n'était que de simples apparences.

Le physicien entend donc par corps matériel tout ce qui manifeste sa présence par une action quelconque, et en cela il ne fait que traduire l'expression des phénomènes; mais n'est-il pas probable que, par cette trop grande réserve, il s'éloigne de la vérité? Car, de la sorte, ne matérialise-t-il pas les fluides incoercibles, tels que la lumière et l'électricité, et même l'attraction, qui pourraient être considérées comme des propriétés inhérentes à la matière, comme des modifications dans l'état des corps et non des corps distincts? N'est-il pas probable qu'il existe dans la nature des forces qui ne sont pas matière? Ces questions sont jusqu'alors aussi insolubles que celles indiquées plus haut, et ce mot *force*, dont la valeur est assez arbitraire, est en général appliqué par les physiciens à l'action d'agens dont ils ignorent la cause, est destiné par eux à représenter des propriétés qui leur sont inconnues.

5. La matérialité est la première propriété générale que les observations nous font reconnaître dans les corps; mais cette matière, dont les agrégations sont si différentes dans leur figure, leur action, leurs propriétés, est-elle homogène, est-elle composée d'élémens semblables, soit dans leur nature, soit dans leurs formes? ou bien un certain nombre d'élémens, ayant des propriétés diverses, des formes particulières, composent-ils, par leurs combinaisons infiniment variées, tous les corps que nous offre la nature? et, dans ce cas, quel est le nombre de ces élémens constituans, quelles sont les formes de ces molécules primitives? Sans chercher à résoudre ces questions délicates, de même que les précédentes bien débattues, mais non éclaircies par les philosophes, dont les découvertes de la chimie moderne nous font du moins entre-

voir l'espérance d'une solution, en nous approchant de jour en jour du terme proposé, malgré qu'il semble fuir devant elles, donnons une idée de la manière dont on a tenté de les éclaircir.

Les anciens supposaient les corps naturels composés de quatre élémens, la terre, l'eau, l'air, le feu; un examen trop superficiel leur avait fait admettre cette opinion, qui, au premier coup d'œil, montre un certain rapport avec l'état des corps, mais qui ne peut supporter l'épreuve de l'observation des faits, et même n'était pas bien clairement établie dans leurs esprits. Si des observations bien profondes ne furent pas nécessaires pour reconnaître qu'ils proclamaient comme élémens les corps les plus composés, les plus hétérogènes, les plus différens dans leurs produits et leurs propriétés, ce ne fut que par des recherches aussi savantes que délicates, des expériences aussi admirables que difficiles, que les fondateurs de la chimie moderne parvinrent, en décomposant et recomposant les prétendus élémens d'Aristote, à les remplacer par des corps qui paraissent simples, du moins qui résistent à tous les moyens d'analyse et de décomposition. Dans l'état actuel de la science, on compte cinquante-deux de ces corps, et leur nombre augmente chaque année, à mesure que les travaux des savans font découvrir de nouveaux procédés, pour diminuer sans doute, lorsque ces procédés seront encore parvenus à un plus haut degré de perfection. Mais l'étude de ces corps et des lois de leur combinaison et de leur décomposition, sont entièrement du domaine de la chimie : le physicien ne doit pas y faire une plus longue excursion.

CHAPITRE II.

DE L'ÉTENDUE.

6. La seconde propriété générale des corps est l'étendue : car dès que nous admettons que la matière existe, que les corps sont matériels, il s'ensuit évidemment qu'ils occupent un espace quelconque, qu'ils ont une forme déterminée ; et, si l'on peut concevoir que de bons esprits aient été conduits par les conséquences de leur système à nier l'existence de la matière, il nous semble absurde d'avoir pu penser que l'étendue n'était pas essentielle à la matière : dire qu'un corps peut exister sans occuper un espace, c'est dire qu'il peut tout à la fois être et n'être pas.

7. L'étendue, considérée sans égard aux corps qu'elle renferme, est *l'espace absolu :* il nous donne l'idée de l'infini ; car comment admettre un commencement et une fin, par quelles limites peut-on borner un être abstrait comme l'étendue absolue ? Circonscrira-t-on l'univers d'une enceinte de murailles ? Mais ces murailles ne seront-elles pas essentiellement étendues, et derrière elles ne rencontrera-t-on pas de nouveau un espace sans bornes ? Mais si l'étendue est infinie, il ne s'ensuit pas que la matière n'ait point de limites : car si l'on ne peut supposer un corps sans étendue, rien de plus aisé que de concevoir un espace sans corps ; et, malgré que nous ignorions si l'univers offre en effet des exemples de lieux entièrement vides de matière, l'expérience du déplacement des corps, qui a lieu à chaque instant sous nos yeux, nous

permet d'imaginer qu'il peut, qu'il doit même en être ainsi dans certaines parties de l'espace.

Mais autour de nous l'opinion du *plein absolu* de Descartes, rejetée par les physiciens avec raison, de la manière dont il l'entendait, paraît devoir être combinée avec celle du *vide* de Newton pour rendre raison des phénomènes observés. Le plein ne peut se concilier avec la marche des corps célestes, qui serait nécessairement diminuée dans une progression toujours croissante par la résistance de la matière : le vide absolu se trouve banni d'un autre côté par la présence d'un fluide quelconque, nécessaire pour l'explication des phénomènes de la chaleur et de la lumière, de l'électricité et du magnétisme. L'espace qui nous environne paraît donc occupé par un ou plusieurs fluides extrêmement subtiles, incoercibles, impalpables, éthérés, qui ne manifestent leur présence que par leur action, enfin qui n'offrent pas au mouvement des astres une résistance appréciable.

8. Quoi qu'il en soit, la partie de l'espace qui environne un corps et qui est occupé par le vide ou par les corps dissemblables, en circonscrit la forme, en détermine la figure, en fixe la grandeur : c'est *l'espace relatif*.

La figure des corps est infiniment variée, soit dans sa circonscription ou sa surface extérieure, soit dans son volume ou sa masse, c'est-à-dire l'espace qu'elle occupe, soit dans sa densité, c'est-à-dire dans la quantité de matière qu'elle renferme sous un volume quelconque; mais elle possède toujours, sous quelque aspect qu'elle s'offre à nous, les trois dimensions, *longueur, largeur* et *profondeur,* ou hauteur et épaisseur. L'étude des rapports et des propriétés de ces dimensions, ainsi que du point et de la ligne, est du domaine de la géométrie; mais il appartient à la physique de faire connaître les autres propriétés reconnues dans les

figures des corps. Le volume, la masse et la densité seront expliqués plus utilement dans les chapitres suivans; nous ne nous occuperons ici que de la configuration apparente des corps.

9. A la première inspection, les corps paraissent affecter des formes irrégulières : le désordre semble avoir présidé à leur agrégation; mais une étude plus approfondie a fait reconnaître dans un grand nombre d'entre eux certaines figures régulières et déterminées, que la nature produit dans certaines circonstances d'une manière constante, et qui annoncent que leur combinaison est soumise à des lois fixes et uniformes. En est-il de même pour tous les corps? Nous l'ignorons; mais il est permis de penser, d'après les probabilités, qu'avec certaines modifications, des phénomènes analogues se passent dans toutes les combinaisons chimiques. Quoi qu'il en soit, tous les corps désignés sous le nom de *cristaux* sont soumis à ces lois d'association régulière, et le génie de M. Haüy, de ce fondateur de l'admirable théorie de la cristallographie, a su ramener la variété infinie des figures que présentent les cristaux à trois formes de molécules intégrantes, la pyramide triangulaire, le prisme triangulaire et le prisme quadrangulaire; ces formes si simples composent, par leur union, leur combinaisons dans tous les sens, tous les cristaux connus : c'est dans les ouvrages de ce savant, qui a donné aux théories de la minéralogie et de la cristallographie le plus haut degré d'évidence, de clarté et de certitude, qu'il faut étudier les lois, les conditions, les rapports, les détails de ces combinaisons; cet objet d'ailleurs n'est pas du ressort de la physique, il forme une branche importante de l'histoire naturelle.

10. Les corps prennent dans l'espace des positions diverses en raison de leur état. Les uns, composés de molécules rapprochées par une force de

cohésion ou d'affinité plus ou moins puissante, forment, par ce rapprochement, des masses qui peuvent offrir toutes sortes de figures, et y persistent, tant qu'une cause étrangère et violente ne vient pas troubler l'ordre existant : ce sont les corps solides. D'autres sont composés de molécules qui paraissent presque entièrement indépendantes les unes des autres; il semble qu'elles soient réciproquement dans un état d'indifférence, rien n'annonçant qu'elles aient la moindre tendance à se rapprocher ou à s'éloigner; l'espace que ces corps occupent est conséquemment déterminé par les circonstances environnantes, par la forme des corps solides, par la moindre force agissante : ce sont les liquides. D'autres corps sont composés de molécules qui paraissent toujours dans un état de répulsion et d'antipathie; elles cherchent mutuellement sans cesse à se fuir le plus possible; une puissance naturelle ou artificielle est donc nécessaire pour empêcher ces corps d'envahir tout espace qui n'est pas entièrement occupé par les corps solides ou liquides : ceux-ci sont les substances aériformes. Enfin nous ignorons quel état affectent dans l'espace les fluides incoercibles; mais tout indique qu'ils y sont dans un état de repos, tant que certaines circonstances ne viennent pas déterminer leur action, leur mouvement. Les quatre états particuliers que nous venons d'indiquer renferment tous les corps de la nature; l'étude de leurs propriétés est un des principaux objets de la physique. Notre marche, après l'étude des propriétés générales des corps, se trouve donc toute tracée par ces divisions.

CHAPITRE III.

DE LA DIVISIBILITÉ.

11. Tout corps matériel a nécessairement une forme quelconque, et occupe un certain espace, quel que soit d'ailleurs son degré de ténuité. Il est évident par conséquent que chaque corps peut, du moins par la pensée, être partagé en deux ou un plus grand nombre de fragmens, et ainsi de suite à l'infini : et ceci ne doit étonner l'imagination qu'au premier abord; car toutes les idées de grosseur et de petitesse, comme de lenteur et de vitesse, ne sont que relatives, et on a lieu d'être surpris que des esprits, d'ailleurs très profonds, aient pu disputer si long-temps et si gravement sur la divisibilité de la matière. C'est une pure contradiction dans les termes; car si l'on veut parler de la divisibilité rationnelle et mathématique, on vient de voir qu'il est impossible de lui assigner de limites; elle est infinie, parce qu'une molécule, même élémentaire, peut être supposée partagée en deux portions, et ainsi de suite. Si l'on parle, au contraire, de la divisibilité physique et mécanique, on ne peut douter qu'elle n'ait un terme quelconque, tel éloigné qu'il soit, puisque nous voyons des molécules constituantes, après des combinaisons sans nombre, reparaître sans altération, et fournir les mêmes produits. Nouvelle preuve des égaremens qu'occasionne si souvent dans toutes les sciences, mais surtout en philosophie, l'abus des mots et du langage !

12. Au reste, des phénomènes qui se renou-

vellent chaque jour autour de nous prouvent que la division réelle de la matière est prodigieuse. La nature nous offre mille exemples de corps dont la petitesse non seulement échappe à nos sens les plus délicats, mais encore, pour ainsi dire, à notre imagination. Tout nous démontre même qu'un corps peut passer à cet état de division extrême, sans que ses particules cessent d'être identiques avec les plus grosses masses. Ainsi, sans parler de la lumière dont la ténuité des molécules est pour ainsi dire incalculable, malgré qu'elle agisse encore alors sur nos sens, puisque l'image d'une étoile formée d'une multitude de rayons différens n'occupe pas sur notre rétine la cent cinquante millionième partie d'un millimètre carré, ne voyons-nous pas les corps cristallisés, réduits en poussière pour ainsi dire volatile, présenter au microscope les mêmes formes, les mêmes angles qui caractérisaient la masse totale? Ne voyons-nous pas un faible sachet de musc répandre et renouveler son odeur autour de lui dans un assez grand espace pendant plus de vingt années? Ne voyons-nous pas mille substances colorantes prouver leur extrême division, en manifestant la dissolution d'une seule de leurs gouttes dans une grande masse de liquide? Mais ce n'est pas seulement la matière morte, ce ne sont pas seulement les corps naturels, qui nous offrent des exemples de la prodigieuse divisibilité de la matière. Les procédés des arts, la matière vivante, en montrent des effets peut-être plus étonnans encore, puisqu'ils supposent dans ces corps, dont l'imagination a peine à comprendre la ténuité, des propriétés, des organes analogues à ceux d'êtres dont le volume est, par rapport à eux, plus considérable que le volume du globe entier par rapport à l'homme. Lewenhoeck, dans ses belles recherches sur les animaux microscopiques, a calculé qu'il faudrait

plus de vingt millions de certains de ces animaux pour remplir un espace d'un centimètre cube, que leur volume était moins d'un millième de grain de sable déjà impalpable; en sorte que plusieurs milliers de ces animaux pourraient tenir sur la pointe d'une aiguille. Cependant ces êtres se meuvent, vivent, paraissent sentir. Leur corps est donc composé de liquides et de solides; ils sont donc doués d'organes propres à remplir certaines fonctions. Qu'on juge, d'après les recherches de ce savant estimé, quelle est la ténuité de ces organes et l'extrême divisibilité de la matière.

13. La *ductilité* ou *malléabilité* est une propriété particulière à certains corps, qui prouve également la grande divisibilité de la matière, et en même temps donne une haute idée de la *ténacité*, de la force de cohésion qui tient attachés ensemble certains assemblages de molécules. Quelques substances végétales et animales, telles que les fibres de plusieurs plantes textiles et les fils de soie et d'araignée, mais surtout les métaux, fournissent des exemples étonnans de cette propriété des molécules de conserver leurs qualités originelles et de demeurer encore liées entre elles, malgré qu'elles soient effilées, étirées, aplaties, amincies à un point extrême. Ainsi, pour ne citer que quelques uns des exemples les plus frappans de la ductilité et de la ténacité des métaux, l'art du batteur d'or parvient à amincir des feuilles de ce métal, de telle sorte qu'elles n'ont qu'un trente millième de ligne d'épaisseur. Dans la fabrication des fils employés pour les micromètres, instrumens d'astronomie qui servent spécialement à mesurer le diamètre des corps célestes, c'est le platine qu'on passe à la filière; mais il serait impossible de l'obtenir directement en fils assez fins. On l'enveloppe donc d'un cylindre d'argent, et l'on étire le tout au plus haut degré de ténuité; ensuite on fait dis-

soudre l'argent dans l'acide nitrique, et le fil de platine demeure à nu. C'est ainsi que le génie de l'homme, s'appropriant la nature entière, appelle à son secours la mécanique, la physique et la chimie, pour mesurer les astres qu'il ne peut atteindre. Ce n'est pas la dernière fois que nous le verrons, tournant à son profit les propriétés de tout ce qui l'entoure, chercher dans toutes les sciences les moyens de reculer les bornes de ses connaissances, et d'accroître les sources de son bien-être.

CHAPITRE IV.

DE L'IMPÉNÉTRABILITÉ ET DE LA POROSITÉ.

14. Les corps sont matériels et étendus; le même lieu ne saurait donc être occupé à la fois par deux corps différens; c'est en cette propriété que consiste l'impénétrabilité, et dans toutes les circonstances où une pénétration de parties semble avoir lieu au premier coup d'œil, il est facile de reconnaître que cette apparence est due à un simple déplacement, ou rapprochement des molécules. Ainsi l'impénétrabilité des corps nous montre sur-le-champ en deux autres propriétés bien importantes, le mouvement et la porosité. En effet il est évident que si un corps, doué d'une certaine force, vient à en rencontrer un autre en repos, il fera effort, et pourra parvenir à le déplacer; il le mettra en mouvement. D'un autre côté nous avons continuellement sous les yeux des exemples de pénétrabilité apparente, nous devons donc en conclure que les corps sont poreux, c'est-à-dire composés de molécules impénétrables et d'espaces vides.

Nous allons voir ces propriétés démontrées par le raisonnement, confirmées par les observations et les expériences, nous donner quelques idées sur la constitution probable des corps.

Il est évident que l'impénétrabilité est une propriété essentielle à la matière, car telle ténue que soit une molécule, et elle occupe nécessairement un espace quelconque, il est impossible que cet espace soit occupé en même temps par une autre molécule. La porosité n'est pas dans le même cas; on peut supposer un corps composé de parties tellement accolées les unes aux autres qu'il soit entièrement impénétrable; mais la nature ne nous offre réellement aucun exemple de cet état normal des corps; dans tous, au contraire, l'espace occupé par les pores semble incomparablement plus vaste que celui rempli par les molécules impénétrables; si la porosité n'est pas une propriété essentielle, elle est donc une propriété générale des corps.

15. Ainsi les corps solides paraissent d'abord tout-à-fait impénétrables : le bois, les métaux, les pierres résistent avec beaucoup de force aux corps qui viennent les frapper; quelquefois ils se brisent, ils s'écartent, ils se séparent; mais leurs fragmens offrent encore une résistance semblable; et si, dans certaines circonstances, on peut les rayer, les trouer, si l'on peut enfoncer des clous dans le bois, dans certains métaux, dans certaines pierres, en examinant attentivement les parties froissées de la sorte, on reconnaît bientôt que ces changemens sont dus à une pression, à un rapprochement des molécules, ou à leur glissement, à leur déplacement (1), mais non à une penétration. Cependant ce bois, que nous voyons pré-

(1) Ces faits prouvent déjà la porosité.

senter une barrière impénétrable à certains corps, mis en contact avec un liquide, va en absorber une quantité considérable; ces métaux, qui nous semblent si durs, si compactes, réduits en lames minces, nous laissent apercevoir le jour à travers leur substance; façonnés en boules, remplis de liquides, et soumis à une forte pression, ils permettent à ce liquide de s'échapper en rosées à travers leurs molécules; enfin, sans parler des corps transparens, et particulièrement d'une multitude de cristaux, du diamant, dont la dureté est si grande, et qui livrent toutefois passage à la lumiere, combien ne voyons-nous pas de pierres, de substances minérales s'imprégner de liquides, ou bien, placées sous le récipient de la machine pneumatique, laisser dégager de leur sein une grande quantité de gaz?

16. *L'imperméabilité* est encore une sorte d'impénétrabilité, mais toujours relative. C'est une propriété particulière qui a de fréquentes applications dans les arts, en vertu de laquelle certains corps ne peuvent passer à travers d'autres.

17. Les liquides et les substances aériformes par l'extrême mobilité de leurs molécules, semblent d'abord tout-à-fait pénétrables; mais il est aisé de reconnaître que ces apparences tiennent uniquement à un déplacement, à une division des parties du corps. Le liquide dans lequel nous immergeons un corps plus pesant s'élève dans le vase qui le contient; il a donc seulement changé de place. C'est en vain que nous cherchons à faire pénétrer dans un vase rempli de gaz, un corps quelconque, si ce vase est hermétiquement fermé, et ne laisse aucune issue au gaz; et d'ailleurs n'est-ce pas l'impénétrabilité, la résistance de l'eau et de l'air qui prêtent aux rames des bateaux, aux voiles des navires et des moulins, un point d'appui susceptible de les mettre en mouvement?

La porosité de ces corps n'est pas moins évidente, et elle est prouvée d'une manière directe par la *compressibilité*, autre propriété générale des corps, mais qui n'est qu'une conséquence de la porosité. En effet des expériences récentes ont prouvé que tous les liquides sont plus ou moins susceptibles de diminuer de volume lorsqu'on les soumet à une pression très puissante. Il en est de même de tous les solides, à l'exception peut-être des corps cristallisés, dont les molécules paraissent dans un état moins susceptible de déplacement que tout autre; enfin si le gaz contenu dans un vase qu'on enfonce avec beaucoup de force dans un liquide, n'est pas entièrement remplacé par ce liquide, il n'en diminue pas moins considérablement de volume, ce qui prouve qu'il est éminemment compressible et par conséquent très poreux.

18. Mais un autre ordre de phénomènes va nous prouver combien il paraît vraisemblable que cette porosité des corps est grande, et combien nous aurions tort de les supposer composés de molécules rapprochées les unes des autres. La chimie nous offre mille exemples de substances qui, après la combinaison, occupent moins d'espace que lorsqu'elles étaient isolées; on pourrait d'abord croire qu'il y dans ce phénomène pénétration de parties, mais il est évident qu'il y a seulement dans cette combinaison nouvelle changement de position des molécules, et par suite rapprochement entre elles et diminution de l'espace occupé par les pores. Ainsi, dans les dissolutions de beaucoup de sels dans l'eau, dans le changement même de la glace en eau, dans la combinaison du cuivre et du zinc qui forme le laiton, il y a constamment diminution de volume.

C'est en cherchant à généraliser ces phénomènes et à les rapprocher des lois générales de la

nature que le célèbre M. de Laplace (1), dans ses immortelles applications de la géométrie aux sciences physiques, applications qui l'ont conduit aux plus belles découvertes, a été amené à penser que la porosité des corps est énorme. En supposant qu'il y a dans les corps les plus denses six milliards de fois plus de vide que de plein, il explique par les lois de l'attraction ou gravitation universelle tous les phénomènes de cristallisation des corps, de capillarité, de réfraction de la lumière, des combinaisons chimiques, etc., etc. Mais quelle est la cause de cette porosité plus ou moins grande des corps et du même corps selon les circonstances où il se trouve? Nous verrons en traitant du calorique que ce fluide en s'interposant plus ou moins abondamment entre les molécules des corps paraît la cause principale de leur porosité, comme de la plupart des changemens d'état et de dimension que nous y remarquons.

CHAPITRE V.

DE L'ÉLASTICITÉ.

19. Nous venons de voir que tous les corps connus sont criblés de pores, et qu'un principe répulsif, interposé entre leurs molécules, paraît la cause de cet éloignement forcé, de cet état contraire à l'attraction et à l'affinité; d'après ces conséquences, déduites des expériences et du raisonnement, que nous verrons confirmées d'une ma-

(1) *Voyez* sa *Mécanique céleste;* Supplément.

nière plus évidente en traitant de la pesanteur, du calorique et de l'état particulier des corps, il nous semble qu'on doit concevoir ceux-ci comme un assemblage de molécules sans cesse sollicitées les unes vers les autres par une force d'attraction, sans cesse maintenues à distance par l'action d'un principe répulsif susceptible d'augmenter ou de diminuer, quelquefois d'être en partie vaincu par l'attraction, d'autres fois de l'emporter en partie sur elle. Quel beau sujet d'inspiration pour les poètes, pour les esprits où l'imagination domine, que ces deux principes toujours opposés l'un à l'autre, toujours en présence, quelquefois combattant à forces égales, l'un et l'autre alternativement vainqueur ou vaincu, de la lutte desquels résulte l'ordre admirable de la nature, comme de la victoire de l'un ou de l'autre résulterait nécessairement la destruction, ou du moins le changement total de tout ce qui existe! Quelle belle occasion de personnifier ces êtres, de leur prêter des pensées, des volontés, d'étendre leur action sur le moral comme sur le physique! Nous nous garderons bien de suivre une telle route; mais le sujet qui nous occupe nous force de donner d'avance une idée de la cause qui produit l'état solide, liquide, ou aériforme des corps, malgré que nous ne parlions pas encore de ces états particuliers, mais parce que cette cause a des applications sans fin, et explique une multitude de phénomènes.

2O. Supposons-nous les molécules des corps tellement rapprochées (1) que la force d'attraction

---

(1) Nous avons vu, à la fin du chapitre précédent, qu'il est possible d'après les idées de M. de Laplace, que ce rapprochement soit encore une distance prodigieuse; mais du moins est-il relatif, et cela nous suffit.

soit victorieuse, il en résultera un état d'agrégation qui, pour être détruit, nécessitera l'emploi d'une certaine puissance : le corps sera solide; de plus si ces molécules ont pu se rapprocher petit à petit, et en conservant la liberté de se mouvoir, elles se disposeront de manière à s'approcher par les côtés qui ont entre eux le plus d'affinité; un arrangement général et régulier en sera la conséquence, le corps sera cristallisé. Si, au contraire, des circonstances quelconques empêchent cette disposition favorable de s'établir, ces molécules seront forcées de s'approcher par d'autres côtés, de se solidifier dans cet état, en un mot de devenir solide non cristallisé.

Maintenant si nous diminuons la puissance de l'attraction de façon qu'elle soit précisément égale à celle du principe répulsif, il en résultera un état particulier dans lequel les molécules auront encore une tendance les unes pour les autres, mais ne pourront manifester celle qui dépend de leur figure propre; dans cet état la position des molécules sera indifférente pour l'action de leur affinité, elles jouiront donc d'une mobilité complète : le corps sera liquide. On conçoit sur-le-champ qu'un tel état d'équilibre parfait entre deux forces soumises à des changemens si fréquens doit se rencontrer bien rarement; aussi la nature nous offre-t-elle un bien petit nombre de corps liquides; aussi un liquide, dès qu'il est formé, manifeste-t-il une certaine tendance à se vaporiser, à passer à l'état aériforme.

Enfin si les molécules sont assez distantes pour que le principe répulsif l'emporte, elles devront s'éloigner tant que des obstacles extérieurs ne les retiendront pas, et dans tous les cas faire effort pour renverser ces obstacles; ce corps affectera l'état aériforme. Nous verrons par la suite le passage d'un corps, d'un de ces états à l'autre, et la

chaleur ou le froid développés tant dans ce passage qu'en comprimant un gaz dans le briquet à air, ainsi qu'une foule d'autres phénomènes, venir confirmer les principes que nous venons de poser, et en même temps prouver que ce principe répulsif n'est autre que celui qui produit la chaleur.

Les considérations que nous venons de faire valoir en donnant la cause des divers états d'agrégation des corps, nous ont démontré de plus en plus qu'ils étaient poreux, et qu'en eux résidait une force attractive qui appelle les molécules les unes vers les autres, mais aussi un principe répulsif qui les maintient à certaines distances : l'élasticité qui consiste en ce qu'un corps soumis à l'action d'une force étrangère lui obéit momentanément, et revient ensuite en tout ou en partie, par une suite d'oscillations, à son état primitif, semble donc une conséquence même de cet état composé. Voyons d'abord quelles paraissent être les causes de cette propriété, et en second lieu dans quelles circonstances, sous l'influence de quelles conditions elle se manifeste.

21. L'élasticité paraît avoir pour cause générale, ainsi que Newton l'a soutenu, la présence du calorique qui, logé dans les interstices des corps, peut être momentanément comprimé, quelquefois expulsé. Tous les phénomènes d'élasticité complète ou incomplète, lorsqu'ils sont dus à une *compression*, s'expliquent très facilement par cette cause, mais il n'en est pas ainsi de ceux que présentent la *flexibilité* et surtout l'*extensibilité* de certains solides ; ces propriétés particulières sont en général considérées par les physiciens comme une modification de l'élasticité, en vertu de laquelle les molécules de certains corps, écartées les unes des autres, détournées de leurs positions naturelles, tendent à reprendre leur premier état, lorsque dans ces actes de violence on n'a pas dépassé

certaines limites; mais cette seconde espèce d'élasticité ne paraît pas avoir la même cause que la première; elle lui semble même contraire, puisque le calorique, loin d'être comprimé ou chassé, se trouve plus à l'aise. Mais il est facile de voir que cette sorte d'élasticité est due à la force de cohésion; dans les corps solides, la puissance du calorique ou principe répulsif est très bornée, celle de l'attraction est considérable; si l'on n'écarte pas assez les molécules d'un tel corps pour détruire l'attraction, il est évident que lorsque la violence qui opérait cet effet cessera, l'attraction tendra à remettre les choses dans leur premier état. Elle y réussira complétement, si les molécules ont été seulement écartées, mais non déplacées; elle n'y parviendra qu'en partie, ou même pas du tout, si les molécules du corps ont changé de position. Ce qui démontre cette explication, c'est que l'élasticité des corps solides est en général d'autant plus grande, d'autant plus parfaite qu'ils sont plus durs, plus tenaces, et d'autant plus faible qu'ils sont plus mous ou plus ductiles. Ce qui en est aussi une nouvelle preuve, c'est que cette sorte d'élasticité par *extensibilité*, ne se rencontre que dans les solides. Il ne paraîtra donc plus étonnant que l'augmentation de calorique dans un corps de cette nature diminue son élasticité, puisque la chaleur le rend plus mou, moins tenace, diminue la cohésion, l'attraction. D'un autre côté, en vertu de la première cause de l'élasticité, on ne sera pas davantage étonné de voir cette propriété d'élasticité par *compressibilité* croître dans les liquides et les gaz, à mesure que le calorique s'y accumulera en plus grande abondance.

Nous venons de voir que l'élasticité se manifeste par la compression et par l'extension des corps; les phénomènes de pression, de choc, de réflexion, du son, appartiennent à l'élasticité par compres-

sion : ceux de flexibilité et d'extensibilité dépendent de la seconde espèce. Parcourons rapidement ceux qui méritent particulièrement de fixer notre attention ; d'autres, et spécialement ceux du son et de la réflexion seront expliqués ailleurs.

22. Observons d'abord que toutes les fois qu'on peut examiner la manière dont se conduit un corps élastique qui revient en tout ou en partie à son premier état, on remarque que c'est en opérant une suite d'oscillations proportionnelles à la violence qu'on lui a fait subir. Qui ne connaît l'effet des ressorts bandés et détendus, ceux des barres et des cordes élastiques, qui ne sont que des espèces de ressorts? Au reste, nous reviendrons sur ces oscillations et sur leurs lois, en parlant des vibrations de l'air comme véhicule du son et de celles des corps sonores, toutes produites par la compression et l'élasticité; car il demeure démontré à nos yeux, par leurs vibrations seules, que tous les corps solides et même liquides sont aussi bien compressibles, mais seulement à un moindre degré que ceux où cette propriété est manifeste, tels que les bois, les cuirs, le liége, la moelle de sureau, le caoutchouc ou gomme élastique, ce que d'autres propriétés, et notamment leur réflexion après le choc, prouveront d'ailleurs par la suite. Quant aux substances aériformes, elles sont éminemment compressibles et dilatables, d'où le nom de fluides élastiques, par lequel on les désigne souvent, et même leur compressibilité ne paraît avoir d'autre limite que leur changement en liquides.

L'élasticité, en vertu de laquelle un corps qui en frappe un autre rebondit, rejaillit, se réfléchit, ainsi que nous venons de le dire tout à l'heure, prouve la compressibilité d'une manière péremptoire : car cet effet ne peut se concevoir et s'expliquer nettement qu'en admettant que la rencontre des deux

corps, en rapprochant outre mesure les molécules, les a placées dans un état forcé d'où elles cherchent à sortir. Ces molécules agissent alors comme une multitude de petits ressorts bandés par le choc, et qui, par leur détente simultanée, font jaillir le corps avec plus ou moins de force, selon la vitesse de la chute, la puissance du choc, le degré de compressibilité et d'élasticité des deux corps qui se rencontrent; ainsi le marbre, l'agate, l'ivoire, le verre, tous les solides rebondissent avec d'autant plus de force qu'ils sont moins ductiles, plus durs. Ce qui démontre que dans ce phénomène il y a réellement rapprochement des molécules, c'est que si on enduit une table de marbre, par exemple, d'une légère couche de graisse, et qu'on y laisse tomber une bille également de marbre ou bien d'agate, de verre, on apercevra sur le corps gras une tache d'une grande dimension, tandis qu'elle ne devrait se montrer que comme un point s'il n'y avait point eu compression de part et d'autre. Mais ce ne sont pas seulement les solides qui sont réfléchis de la sorte, il en est de même des liquides, ce qui prouve leur compressibilité; l'eau, dans sa chute sur les divers corps, nous en offre des exemples journaliers. Nous verrons par la suite que le fluide lumineux est de tous les corps celui qui est réfléchi avec le plus de force; aussi le considère-t-on comme le plus élastique.

23. Si l'élasticité n'est pas manifeste pour tous les corps dans les circonstances que nous venons d'analyser, elle l'est complétement, et peut même être mesurée, lorsqu'ils sont réduits en fibres très minces, étirés en fils très fins. Si on les soumet alors à une légère tension, on les voit s'alonger, et lorsque la tension cesse, reprendre leur premier état : maintenus à leurs extrémités, si on les écarte de cette position, on les voit y revenir par une suite d'oscillations.

Beaucoup de substances manifestent aussi une élasticité souvent très forte lorsqu'on les infléchit. Les arts ont fait de cette propriété mille applications utiles, soit dans la construction de ressorts de toute sorte, soit dans la préparation des matelas, des coussins, des tissus épais, où l'élasticité des fibres employés rend le corps doux et moelleux. L'amincissement est pour certains corps une cause puissante d'élasticité; ainsi le verre, l'un des corps les plus rigides et les plus fragiles, acquiert une grande flexibilité lorsqu'il est réduit en fils très minces : il compose alors ces charmantes aigrettes ondoyantes que nous voyons orner, sous le nom d'*esprit*, le chapeau de nos dames.

24. Mais il est d'autres circonstances, telles que *l'écrouissage*, *le recuit*, *la trempe*, qui agissent puissamment sur l'élasticité, et dont il n'est pas aussi facile de rendre raison. Toutefois l'écrouissage, qui rend les métaux plus cassans, le recuit, qui les remet dans leur état ordinaire, s'expliquent par le rapprochement forcé des molécules dans le premier cas, et leur rétablissement dans le second; mais la trempe, opération dans laquelle un corps très chaud est plongé dans l'eau froide, qui rend l'acier plus dur et plus cassant, l'alliage de cuivre et d'étain propre à fabriquer les tamtams, plus mou et plus malléable, qui n'opère rien sur l'or, le cuivre, etc., qui place ces gouttes de verre jetées en fusion dans l'eau, et qu'on nomme *larmes bataviques*, dans un tel état d'irritation, si l'on peut s'exprimer ainsi, que le moindre mouvement détermine leur rupture en fragmens impalpables, paraît agir si différemment en vertu d'états d'agrégation ou de modes de position des molécules que nous ne connaissons pas bien. Cependant l'exemple de l'acier et des larmes bataviques peut s'expliquer par le refroidissement subit des couches extérieures; car il doit en résulter, 1°. que le corps

est plus volumineux qu'il n'eût été s'il se fût refroidi lentement, et c'est ce que l'expérience confirme; et 2°. que les molécules intérieures sont dans un état de contrainte, puisqu'elles ont été forcées, en se modelant sur la couche extérieure, de se placer à des distances trop considérables pour l'état du corps.

CHAPITRE VI.

DE L'ATTRACTION ET DE LA PESANTEUR.

25. Déja Galilée avait soumis au calcul les phénomènes qui accompagnent la chute des corps à la surface de notre globe; déjà il avait reconnu que l'air, en présentant aux corps qui le traversent une résistance proportionnelle à leur volume, était la seule cause des différences qu'on remarque dans la vitesse avec laquelle ils tombent; déjà Képler, après vingt années de travaux infructueux occasionnés par une erreur de calcul, retrouve enfin, en revenant sur ses pas, la route que cette erreur lui avait fait abandonner, et découvre les lois qui règlent la marche des corps célestes, le chemin qu'ils doivent parcourir, le temps que doit durer leur révolution : ces lois étaient l'expression littérale de la gravitation; mais une telle traduction exigeait le génie de Newton; c'est en effet ce grand homme qui, par l'observation de la loi de diminution de la pesanteur en raison de la distance, a été conduit à dévoiler le mécanisme des mouvemens des corps célestes, et est parvenu à expliquer et prévoir les phénomènes les plus composés, les changemens les plus grands, les perturbations les

plus diverses qu'ils présentent. Ces objets d'étude sont entièrement du domaine de l'astronomie; mais Newton ne s'est pas arrêté là : il reconnut bientôt que la chute des corps à la surface de la terre obéissait à la même loi que la marche des planètes, et il proclama l'attraction universelle; c'est-à-dire qu'en supposant toutes les molécules de la matière douées d'une force d'attraction les unes pour les autres, il rendit raison de tous les phénomènes observés. Nous avons vu, en exposant l'idée de M. de Laplace sur la porosité des corps, que les plus savans physiciens n'ont pas cherché à restreindre les applications de la découverte de Newton, mais au contraire à lui faire porter de nouveaux fruits.

26. Il est inutile d'observer que ces mots, *attraction*, *gravitation*, *pesanteur*, ne sont que l'expression des phénomènes, et n'ont pas la prétention de faire connaître la cause qui les produit, cause qui nous sera peut-être à jamais inconnue. L'attraction est-elle le résultat d'une propriété inhérente à la matière, et dans ce cas d'où vient cette propriété? est-elle le résultat de l'action d'un fluide particulier? est-elle le résultat d'un mouvement intérieur des molécules? est-elle produite même par une répulsion? etc. etc. Nous retombons ici dans tout le vague et même tout l'absurde des suppositions et des systèmes par lesquels on a tenté de faire connaître les causes premières de tout ce qui existe; c'est assez dire que nous nous bornerons à ces considérations générales, prenant toujours pour guides l'observation et l'expérience. Livrons-nous donc sur cette matière à l'étude qui appartient spécialement à la physique, celle des différens phénomènes que manifestent autour de nous la pesanteur et l'attraction. Ces phénomènes sont de deux sortes, et nous les exposerons dans des articles séparés.

Les uns sont identiques avec l'attraction des corps célestes, ils en sont une continuation, un effet sur le globe que nous habitons, et sur tous les objets qui en font partie : c'est la *pesanteur* proprement dite. Les lois de la chute des graves, la mesure de cette chute, le centre de gravité, la pesanteur spécifique des corps devront nous occuper successivement; la description de diverses machines et instrumens importans ou curieux à connaître, se trouvera liée à cette étude.

Les autres sont considérés par la plupart des physiciens comme une modification de l'attraction à distance, et ils la désignent sous le nom d'*attraction moléculaire*, ou d'*affinité*, ou bien encore de *force de cohésion*. Dans ces phénomènes, l'attraction ne se manifeste qu'à de très petites distances; les uns, sans doute, en vertu de l'attraction, plus forte entre certaines molécules, plus faible entre d'autres, produisent les changemens de combinaison des corps, c'est l'objet des recherches de la chimie, nous ne devons pas nous en occuper; ceux qui feront l'objet de nos études sont les phénomènes de la capillarité et du frottement.

SECTION PREMIÈRE.

DE LA PESANTEUR.

27. Nous venons de voir que la pesanteur est cette propriété en vertu de laquelle les corps abandonnés à eux-mêmes se précipitent sur la terre, et si nous observons d'abord quelle direction ils suivent dans cette chute, nous reconnaîtrons qu'elle est toujours perpendiculaire à la surface des eaux dormantes, en conséquence qu'elle se dirige constamment vers le centre de la terre. En effet, les géomètres ont démontré qu'un sphéroïde dont toutes les molécules seraient douées d'une

force d'attraction, devrait agir comme si ces molécules étaient réunies au centre.

Tous les corps solides, liquides et gazeux sont soumis à l'action de la pesanteur, et ceux d'entre eux qui paraissent, dans certaines circonstances, violer ses lois, sont au contraire la démonstration la plus complète de leur généralité. Ainsi, certains gaz remontent au lieu de tomber vers la terre, certains corps solides se maintiennent en équilibre dans l'atmosphère, parce que l'air au milieu duquel ils se trouvent est plus pesant qu'eux, c'est-à-dire offre plus de masse sous le même volume. Il en est de même d'une boule de liége, d'un morceaux de bois plongés dans l'eau, de certains métaux plongés dans le mercure. Ces liquides obéissant à la pesanteur aussi bien que ces corps, les forcent de remonter à leur surface parce qu'ils sont plus pesans qu'eux.

On ne doute guère de la pesanteur des liquides et des solides, mais celle de l'air a été long-temps niée; on la prouve maintenant directement en faisant le vide dans un ballon de verre; ce ballon suspendu au plateau d'une balance, et mis en équilibre, penche dès qu'on y laisse entrer une certaine quantité d'air. (Voyez *Pl. I, fig.* 1.)

28. La pesanteur étant une force à laquelle sont soumises toutes les molécules matérielles, doit être considérée comme agissant à chaque instant également sur toutes celles qui sont placées à la même distance de son centre d'action, quel que soit d'ailleurs l'état d'agrégation ou de combinaison, la forme, l'espace, occupé par ces molécules. La résistance des milieux que traversent les corps dans leur chute est donc la seule cause des différences que la pesanteur présente dans ses manières d'agir sur eux. Ainsi, sans la résistance de l'air, une plume et une balle de plomb tomberaient nécessairement avec une vitesse égale, puisque si le

nombre des molécules n'est pas égal dans ces deux corps, chaque molécule n'en sera pas moins animée d'une même vitesse, et par conséquent la vitesse commune ne sera ni augmentée ni diminuée. Mais d'ailleurs faisons le vide dans un tube de verre d'environ deux mètres de longueur, *fig.* 2, dans lequel nous aurons mis préalablement des corps de densité très différente, tels que du plomb, de l'or, du bois, du papier; si nous renversons le tube, nous verrons tous ces corps tomber avec une égale vitesse, et arriver en même temps au fond du tube, si le vide a été bien fait; car si nous y laissons pénétrer la plus petite quantité d'air, ces corps arriveront successivement en raison de leur densité, c'est-à-dire de la masse mesurée par le volume.

29. Il est donc bien important de ne pas confondre la *pesanteur* d'un corps avec ce qu'on appelle son *poids;* la pesanteur se mesure par la vitesse qu'elle imprime à chaque molécule; elle est donc indépendante du volume, de la masse, en un mot, du nombre des molécules; elle est invariable dans un même lieu, à une même hauteur, ainsi que nous l'expliquerons tout à l'heure. Le poids d'un corps est au contraire la mesure de l'effort nécessaire pour le soutenir et l'empêcher de tomber; c'est la mesure de la pression qu'il exerce sur les corps placés au dessous de lui. Le poids dépend de la quantité de matière que le corps renferme, il est donc proportionnel à la masse et indépendant du volume; mais la comparaison du poids d'un corps avec celui d'un autre, sous un volume égal, a donné l'idée de la *densité* ou de la *pesanteur spécifique*, plus exactement du *poids spécifique* des corps, qui est le rapport du poids absolu d'un corps au poids absolu d'un autre corps pris pour unité, ou terme de comparaison.

Nous ne nous occuperons pas en ce moment des

moyens de mesurer la densité d'un corps, parce qu'ils sont différens pour les solides, les liquides et les gaz, et trouveront mieux leur place dans l'étude particulière de ces corps; mais nous allons faire connaître ceux qui servent à mesurer la pression qu'un corps exerce sur un autre, ce qui comprendra l'étude des centres de gravité et des balances; nous verrons ensuite quelle est la vitesse de la chute des corps soumis à l'action de la pesanteur, nous mesurerons cette vitesse, nous reconnaîtrons et nous dirons pourquoi elle n'est pas la même dans tous les lieux de notre globe; enfin, nous verrons que ce n'est pas plus la terre qui attire les corps, que les corps qui attirent la terre, c'est-à-dire que nous démontrerons que la force de la pesanteur réside dans toutes les molécules matérielles.

SECTION II.

DU CENTRE DE GRAVITÉ ET DES BALANCES.

30. La direction de la chute des corps donne celle de l'action de la pesanteur, et nous avons vu que dans chaque lieu cette direction suit une *ligne à plomb* ou *verticale* à la surface des eaux tranquilles; la terre étant une sphère, il en résulte que cette direction est différente pour chaque lieu, mais ce changement ne peut être sensible qu'à de grandes distances, les forces de la pesanteur peuvent être considérées comme parallèles; et si elles s'appliquent à un corps d'une étendue appréciable, on conçoit que ses effets partiels pourront se combiner et se réunir en un seul et même point de la masse de ce corps : c'est ce point qu'on appelle *centre de gravité* d'un corps, et c'est pour l'étude des solides que la connaissance de ce point est bien importante.

31. Le centre de gravité est tantôt plus haut, tantôt plus bas que le point fixe : dans le premier cas, on dit que le corps est supporté; dans le second, qu'il est soutenu. Le centre de gravité est toujours placé dans la direction de l'action de la pesanteur, c'est-à-dire la verticale; c'est pourquoi un corps suspendu à un fil donne toujours cette direction en soutenant le centre de gravité. Tel est le fil à plomb, *fig.* 3, qui donne aussi le moyen de trouver le centre de gravité de tout autre corps, *fig.* 4. Le centre de gravité supporté ne coïncide pas toujours avec le centre de la figure du corps; car il dépend de la densité, et se rapproche toujours de la partie la plus dense. Toute situation d'un corps posé est donc d'autant moins assurée que la surface soutenue est plus petite, et que le centre de gravité s'éloigne davantage du milieu de cette surface.

La théorie du centre de gravité a mille applications dans les arts, tant pour la construction d'un grand nombre de machines, de meubles, que pour la position la plus convenable à leur donner. Elle explique plusieurs jeux physiques très curieux, tels que le cylindre montant sur un plan incliné, le petit sauteur, les tours des danseurs de corde; elle est même utile pour apprécier les mouvemens de l'homme et des animaux, et dans ces dernières circonstances la position du centre de gravité est variable. L'homme debout ayant ses mains sur ses côtés a son centre de gravité dans le bas ventre, sur la prolongation des jambes; c'est donc la position la plus assurée; assis, s'il veut se relever, il est forcé de ramener en avant le centre de gravité en se penchant; chargé d'un fardeau sur le dos, il doit se tenir courbé en avant. Mais c'est pour la construction des balances que le centre de gravité est surtout important à connaître.

32. Il existe un grand nombre d'instrumens

au moyen desquels on peut peser un corps, c'est-à-dire déterminer combien il faut de poids connus pour équilibrer celui de ce corps; mais, pour les opérations délicates de la physique et de la chimie, qui ont fréquemment besoin de ces instrumens, une précision extrême et indispensable; il est donc de toute nécessité qu'ils soient construits avec le plus grand soin, et qu'aucune partie n'y soit négligée. La balance de Fortin que nous donnons, *fig.* 5, paraît celle qui mérite le mieux la confiance des physiciens. Cependant la méthode des doubles pesées de Borda doit toujours être employée pour les opérations importantes; elle consiste à équilibrer le corps dont on veut connaître le poids, avec des matières diverses, ensuite à retirer ce corps du plateau de la balance, et à le remplacer par des grammes et fractions de grammes, jusqu'à ce que la verticalité de l'aiguille indique de nouveau un équilibre parfait. Il est évident que le corps et les poids connus étant pesés du même côté, l'erreur qui pourrait provenir des vices de la balance sera détruite. Il est inutile d'entrer dans de plus grands détails pour la description de cet instrument, dont la figure donne une idée suffisante; nous ferons seulement observer que dans toute balance il est bien important que l'axe du fléau A A ne soit pas placé au-dessus du centre de gravité; car alors il changerait au moindre mouvement, et ne pourrait jamais être ramené à l'équilibre, la balance serait folle, elle trébucherait à chaque instant. Il faut donc que le centre de gravité G soit un peu au-dessous des points de suspension. La balance figurée est la plus complète de toutes; on y a ajouté des fourchettes ou supports auxiliaires F F, que des vis font monter ou descendre; leur destination est de soutenir le fléau dans l'état de repos, afin que le couteau d'acier, bien tranchant et bien poli qui soutient le fléau

dans l'opération, ne se déplace pas; deux petits plateaux secondaires *bb* servent, au contraire, à maintenir une même position pendant qu'on se sert de la balance; une vis de rappel V sert à replacer l'instrument de niveau; l'aiguille D, au lieu d'être au-dessus du fléau, tombe jusqu'au pied du support ou elle oscile sur une portion de cercle gradué; enfin, pour n'avoir à redouter l'influence d'aucunes circonstances extérieures, on peut enfermer toute la machine dans une cage de verre qui s'ouvre par le bas.

Tous les tubes recourbés, où l'on met des liquides de densité différente, et les baromètres, sont aussi des espèces de balances qui servent à mesurer le poids des liquides et des gaz : nous en parlerons ailleurs.

SECTION III.

DE LA CHUTE DES GRAVES.

33. Les corps, en tombant librement, acquièrent un mouvement uniformément accéléré, et Newton a prouvé que c'était la même loi, décroissant en raison inverse du carré de la distance, qui maintenait la lune dans son orbite. Cette force de la pesanteur à Paris fait parcourir à un corps abandonné à lui-même d'un lieu élevé quinze pieds dans la première seconde; cette vitesse croît ensuite successivement comme les carrés des temps, puisque la pesanteur continue d'agir toujours dans le même sens; ce qui explique pourquoi la chute d'une pierre d'un lieu élevé est si dangereuse, pourquoi on risque de se fracasser en tombant de haut. La même loi retarde le mouvement des corps lancés en l'air, c'est-à-dire que l'espace qu'ils parcourent décroît dans la même proportion, et il doit en être ainsi, puisque le projec-

tile est sans cesse sollicité par la pesanteur dans une direction contraire à celle qui lui a été imprimée.

L'accélération de la vitesse dans la chute des corps n'est rigoureusement telle que nous venons de l'indiquer que dans un espace vide d'air; car la résistance de l'air est aussi une force qui agit constamment, et qui par conséquent balance en partie la force également constante de la pesanteur.. Mais les espaces que nous pouvons observer sont trop limités pour que l'influence de cette résistance soit appréciable; le calcul donne d'ailleurs les moyens d'en tenir compte.

34. L'observation de la chute des corps d'un lieu élevé avait déjà fait découvrir à Galilée la loi d'accélération que nous venons de mentionner; mais il était difficile d'étudier les détails de cette loi, et de la rendre manifeste à tous les yeux. La machine d'Atwood, en ralentissant l'action de la pesanteur sans changer sa nature, a facilité cet examen. C'est une colonne, *fig.* 6, haute d'environ six pieds, qui supporte une poulie sur la gorge de laquelle est passé un fil de soie assez fin pour que sa pesanteur puisse être considérée comme nulle, et aux extrémités duquel sont deux poids parfaitement égaux D D; il est évident que dans cet état, en quelque position qu'on les place, les deux poids se feront équilibre. A côté de la colonne est fixée une grande règle E, divisée en parties égales, et qui doit servir à mesurer les espaces parcourus. Si dans cet état nous plaçons sur le poids D un petit poids supplémentaire, l'équilibre sera rompu, les poids se mettront en mouvement, et celui surchargé, au bout d'une seconde, se trouvera au point 1 de la division, au bout de la deuxième seconde il se trouvera au point 4, au bout de la troisième au point 9, puis au point 16, etc., enfin en suivant la loi des carrés des temps. Dans

la vraie machine d'Atwood, à l'instrument est ajouté une pendule à secondes, et la poulie est compliquée de plusieurs roues pour diminuer le frottement.

La même machine sert à prouver qu'une force accélératrice, lorsqu'elle cesse d'agir, fait parcourir au corps qui lui était soumis, uniformément et dans le même temps, un espace double de celui qu'il a parcouru; pour cela il suffit d'ajouter à la règle un anneau *d* qui laissera passer le poids principal, mais arrêtera le poids supplémentaire; alors on verra que si le corps a déjà parcouru 4 divisions, il en parcourra uniformément 8 dans le même temps, jusqu'à ce qu'il soit arrivé sur le support.

35. La pesanteur n'est pas la même dans tous les lieux de la terre; elle est à son minimum à l'équateur, et à son maximum au pôle. Ce changement a deux causes; la première est l'effet de la force centrifuge, beaucoup plus puissante à l'équateur, et dont la comparaison de deux frondes de longueur différente donnera une idée fort exacte; la seconde, qui n'est que le résultat de la première, est l'aplatissement de la terre aux pôles; car nous avons vu que la pesanteur qui agit du centre de la terre diminue d'intensité à mesure qu'on s'éloigne de ce centre. Or les pôles, étant aplatis, sont rapprochés du centre; la pesanteur doit y être plus considérable, tandis que le contraire a lieu pour l'équateur. C'est de cette observation de la diminution de la pesanteur que Newton avait conclu avec beaucoup d'exactitude la quantité de l'aplatissement de notre globe. Il paraît qu'on a trouvé l'intensité de la pesanteur un peu moindre sur les hautes montagnes qu'au niveau de la mer. Cet effet tient à la même cause.

36. La force de l'attraction, qui se manifeste et a pour résultat la pesanteur, ne réside pas seule-

ment dans notre globe ; elle appartient à toutes les molécules des corps : et c'est le résultat commun de l'attraction de toutes ces molécules qui dirige constamment la pesanteur vers le centre de la terre. Déjà nos astronomes, dans la mesure du méridien en Amérique, avaient cru s'apercevoir que les hautes montagnes faisaient dévier leurs instrumens de la verticale ; depuis, Maskeline en Écosse, et M. de Humboldt en Amérique, ont reconnu cette influence d'une manière évidente.

37. Mais une preuve directe de l'attraction de tous les corps est fournie par la balance de torsion, inventée par Coulomb : cet instrument, *fig.* 7, est essentiellement composé d'un fil métallique vertical D, plus ou moins long, dont le bout supérieur est attaché à un point fixe, et dont le bout inférieur, tendu par un petit poids C, porte une aiguille horizontale A B, terminée par deux petites boules ; le tout est enveloppé d'une cage de verre, et la mesure des forces est facilitée au moyen de deux cadrans divisés. Pour appliquer cet instrument à la mesure de l'attraction que tous les corps de la nature exercent les uns sur les autres, proportionnellement à leur masse et réciproquement au carré de leur distance, il suffit de descendre devant les extrémités de l'aiguille et en sens opposé, deux boules d'une matière quelconque ; aussitôt ces boules et l'aiguille s'attireront mutuellement ; et comme les premières sont supposées immobiles, on verra l'aiguille s'en approcher jusqu'à ce que la force de torsion du fil fasse équilibre à celle de l'attraction, et le fixe en ce point après une suite d'oscillations. C'est au moyen de cet instrument, et en comparant la durée des oscillations de l'aiguille avec celle du pendule, que Cavendish a trouvé que la densité moyenne du globe était cinq fois et demi plus considérable que celle de l'eau.

SECTION IV.

DE LA CAPILLARITÉ.

38. Les physiciens désignent sous le nom de *phénomènes capillaires*, parce qu'ils ont été d'abord remarqués dans des tubes d'un diamètre très étroit, et qu'on a pour cette raison comparés à un cheveu, certains effets que nous avons déjà annoncé avoir pour cause l'attraction moléculaire ou force de cohésion des particules matérielles, phénomènes bien curieux, puisqu'ils nous donnent quelques notions sur la constitution des corps et les actions de leurs molécules, et nous conduisent à des déductions auxquelles on peut ajouter toute confiance, puisque, malgré leur infinie variété, ces phénomènes ont été soumis à un calcul rigoureux. Exposons d'abord les plus remarquables des faits observés, nous essaierons ensuite de donner une idée de la théorie à laquelle M. de Laplace est parvenu à les rapporter.

39. Si l'on applique un corps à surface plane sur un autre corps poli ou sur un liquide, on sentira qu'un certain effort est nécessaire pour l'en séparer, et cette force de cohésion a lieu non seulement entre deux corps solides, et entre les solides et les liquides, mais aussi entre les molécules des liquides eux-mêmes; car si l'on suspend, par exemple, un disque de verre à une balance pour mesurer sa force d'adhésion avec l'eau, ce corps étant susceptible de se mouiller, on reconnaîtra, outre l'adhésion du liquide et du solide, prouvée par cela même que le premier mouille le second, une certaine cohésion entre les particules du liquide : en effet, il faudra plus de poids pour opérer la séparation que pour faire équilibre à la légère couche de liquide demeurée adhérente au

disque. D'un autre côté, si l'on plonge dans l'eau un tube très étroit, on verra le liquide s'y élever au dessus de son niveau, et y former un ménisque concave, *fig.* 8, tandis que si on a enduit l'intérieur de ce tube d'une substance grasse, le liquide restera au-dessous de son niveau, et prendra la forme d'un ménisque convexe, *fig.* 9. De même si on plonge un tube dans le mercure, on verra ce liquide s'y tenir au-dessous du niveau, tandis qu'il s'élèvera au-dessus si on purge entièrement le tube de l'eau qui est toujours attachée à ses parois; c'est donc la propriété d'être ou non mouillé par le liquide qui détermine la forme que celui-ci affecte à sa surface. La même chose s'observe de la même manière, soit dans les tubes de forme conique, soit autour des corps, ou entre des plans plongés dans les liquides, *fig.* 10 et 11. L'ascension de l'eau dans le bois, le sucre, le sable, de l'huile dans les mèches, et en général des liquides dans les corps poreux, la végétation des sels, c'est-à-dire les cristallisations qui dépassent la surface des liquides, la forme sphérique des gouttes de fluide suspendues, la force qui pousse les uns vers les autres, ou quelquefois éloigne les corps flottans à la surface de l'eau ou suspendus dans son sein, et plusieurs autres faits, sont des phénomènes capillaires qui ont la même cause et s'expliquent par la même théorie.

40. Toutes les actions dont nous venons de parler ont lieu dans le vide aussi bien que dans l'air; elles sont indépendantes de la nature, comme de la quantité de matière des corps qu'on y soumet; ainsi, quelle que soit l'épaisseur d'un tube, le liquide s'y tiendra à la même élévation, son diamètre seul agit sur cette hauteur, d'où nous devons conclure que la force qui produit ces phénomènes ne se manifeste qu'à de très petites distances, qu'à des distances que nous pouvons à peine

apprécier ; enfin, qu'à des distances qui sont moindres que la légère couche d'humidité qui s'attache aux surfaces de beaucoup de corps. On reconnaît à cette description l'action de l'attraction moléculaire, attraction de laquelle dérivent les affinités chimiques lorsqu'elle est plus intime, plus directe, lorsqu'elle s'exerce de molécule à molécule.

En effet, M. de Laplace a prouvé qu'en admettant cette attraction à petite distance, on rend raison de tous les phénomènes que nous avons mentionnés plus haut, car il démontre par le calcul que si une action quelconque a le pouvoir de changer la forme extérieure d'une surface, de la rendre concave ou convexe, comme dans les phénomènes que nous étudions, elle rompt l'équilibre avec les parties voisines, et doit alors déterminer, dans cet endroit, si les molécules sont susceptibles de se mouvoir, une élévation ou un abaissement. Or, nous voyons ici une attraction moléculaire pour les corps qui peuvent se mouiller, déterminer la formation d'un ménisque concave, et pour ceux qui sont enduits d'une matière grasse, ou en général qui ne peuvent se mouiller, un frottement produire un ménisque convexe : le liquide doit donc s'élever dans le premier cas et s'abaisser dans le second. Le même savant démontre aussi que toutes ces actions sont d'autant plus fortes que le diamètre des tubes est plus petit. (1)

---

(1) *Voyez*, pour plus de détails, les Mémoires de M. de Laplace, et pour les mouvemens des corps flottans, un Mémoire de Monge, dans la Collection de l'Académie. *Voy.* aussi le *Traité de Physique* de M. Biot, 4 vol. in-8.

SECTION V.

DU FROTTEMENT.

41. Le frottement offre encore une multitude de phénomènes produits par la même cause que ceux que nous venons de faire connaître, et qui en sont une dépendance. On reconnaît l'effet de l'attraction moléculaire en voyant un corps à surface parfaitement unie et polie, glisser sur un plan incliné également bien uni, avec une vitesse incomparablement moins grande que celle qu'il devrait acquérir en vertu de l'action de la pesanteur, vitesse que donne la décomposition des forces p et p', *fig.* 12. Il est évident que chacune des molécules de la surface des deux corps en contact ayant une tendance à se fixer l'une à l'autre, il doit en résulter une force totale qui contrebalance en partie l'effort de la pesanteur universelle ; et ce qui démontre que cette cause a beaucoup d'influence sur les effets du frottement, c'est que l'on reconnaît que son énergie est proportionnelle à la pression ; dans ce cas, en effet, le contact doit être plus intime. On reconnaît aussi que cette énergie a plus de force entre des corps de même nature et qui sont demeurés en contact pendant quelque temps, comme si alors les rapports de sympathie avaient eu plus le temps de s'établir.

42. Mais nous avons vu que l'action de la force de cohésion ne s'étend que dans une sphère très bornée, n'a lieu qu'à très petite distance ; toutes les résistances que nous présentent les corps par leur frottement, lorsqu'on les fait glisser l'un contre l'autre, ne peuvent donc s'expliquer par cette seule cause ; mais alors ils dépendent d'une autre propriété générale que nous avons reconnue dans les corps, c'est-à-dire de l'arrangement même de

leurs molécules, de la porosité; et il est facile de sentir qu'il ne peut en être autrement. Tous les corps, même les plus polis, sont hérissés d'aspérités, parsemés d'une multitude de trous; ils doivent donc, lorsqu'ils sont en contact, s'enchevêtrer plus ou moins les uns dans les autres, ce qui produit nécessairement une résistance plus ou moins forte au mouvement qu'on veut imprimer à l'un des deux corps; il est facile, d'après cette explication, de concevoir tous les effets les plus compliqués du frottement, de les prévoir et de les mesurer dans beaucoup de cas, ce qui est d'une bien grande utilité pour apprécier la force réelle d'une multitude de machines de tout genre. Cet enchevêtrement mutuel des aspérités de la surface des corps est d'ailleurs prouvé d'une manière irrécusable par ce qui se passe chaque jour sous nos yeux; nous voyons dans mille circonstances que l'on diminue le frottement en interposant entre les deux corps une substance grasse, susceptible de niveler en partie les aspérités qui existent à leurs surfaces. Nous voyons tous les corps de la nature s'user, se polir par le frottement répété même des plus doux contre les plus durs; nous voyons l'eau sillonner les roches les plus résistantes de traces qui augmentent sans cesse. On reconnaît à ces effets la résistance qu'oppose un corps au glissement d'un autre qui est en contact avec lui, et la violence nécessaire pour opérer leur séparation.

CHAPITRE VII.

DU MOUVEMENT ET DU REPOS.

43. Nous avons reconnu, dans le chapitre second, que les molécules matérielles occupent nécessairement quelque place dans l'espace absolu, c'est-à-dire dans une étendue immuable, immense, qui se prolonge en tous sens; ces molécules, si elles ne sont sollicitées par aucune force, si aucune puissance intérieure ou extérieure ne vient les modifier, devront persister dans leur premier état et demeurer dans l'*inertie*, c'est-à-dire garder un état constant de repos ou un état constant de mouvement. L'inertie est donc une propriété générale de la matière, ainsi que le repos et le mouvement, qui en sont les conséquences; car les physiciens-géomètres ont déduit toutes les lois générales de l'équilibre et du mouvement des corps, ont ramené à ces lois tous les effets infiniment variés des nombreuses forces qui agissent autour de nous, de la seule considération mathématique des propriétés de l'inertie. On voit par conséquent que l'étude de ces lois appartient plus spécialement aux sciences physico-mathématiques, à la géométrie et à la mécanique; mais leur influence constante sur tous les phénomènes naturels nous fait un devoir d'en indiquer ici les résultats principaux.

44. La cause qui fait passer un corps de l'inertie au mouvement ou au repos nous est inconnue; cependant il est évident qu'une molécule de matière qui est en mouvement dans l'espace ne peut s'arrêter ou changer de direction et de vitesse,

qu'une molécule en repos ne peut se mouvoir sans l'action d'une cause agissante. Mais cette cause est-elle extérieure, et alors dans quel agent réside-t-elle, ou bien est-elle inhérente à la matière? Un grand nombre de philosophes, sans trop s'arrêter à ces questions, qui étaient cependant les premières à éclaircir, mais considérant que le mouvement paraissait, par une succession non interrompue, par une rotation perpétuelle, produire, changer, détruire toutes choses, voulurent le ramener à un type unique, et alors commencèrent par le personnifier. Nous n'avons pas besoin de dire que le physicien qui ne suit pas cette marche ne peut se contenter d'aussi vagues théories; il ignore les causes primitives du mouvement; sans l'expliquer il se contente donc de nommer *force motrice* le principe, quel qu'il soit, qui paraît être la cause immédiate d'un changement dans l'état de repos ou de mouvement d'un corps.

La nature nous offre un grand nombre de ces forces motrices, qui se compliquent ensuite à l'infini dans leurs actions, par leur mélange, leur manière d'agir, le corps auquel elles s'appliquent, etc. Les arts, qui n'ont fait que mettre à profit les forces motrices de la nature, y ont encore ajouté une foule de combinaisons et de complications. Toutefois on peut ramener à trois types principaux toutes les forces motrices. Les unes sont la conséquence de certaines propriétés générales que nous avons reconnues dans les corps matériels. Ainsi l'impénétrabilité, la porosité, l'élasticité, l'expansibilité, la dureté, la fluidité, etc., qui produisent les chocs et les résistances, doivent, dans certaines circonstances, donner lieu à des mouvemens. Ce sont les plus faciles à concevoir. D'autres forces sont le résultat de l'action des muscles et des organes des animaux, et probablement aussi des végétaux; leur

cause est absolument ignorée. D'autres enfin, sur lesquelles nos connaissances sont aussi incomplètes, dépendent de l'action d'agens, tels que la chaleur, la lumière, l'électricité, le magnétisme, ou produisent tous les phénomènes de la pesanteur, de l'attraction, de l'affinité.

45. Le mouvement et le repos, considérés dans leurs rapports avec l'étendue infinie ou avec un espace limité, sont *absolus* ou *relatifs*. Nous n'en connaissons que de cette dernière sorte. Ainsi des objets placés dans un bateau, les corps immobiles qui sont à la surface de notre globe sont en repos relativement les uns aux autres; cependant ils sont entraînés avec le bateau, ils tournent avec la terre autour du soleil. De même quand nous reportons à la terre, et même an soleil, le mouvement des astres que nous observons, nous n'avons la connaissance que de mouvemens relatifs; car la terre circule autour du soleil, et celui-ci, sans doute, accompagné de toutes les planètes, se transporte vers quelque constellation éloignée.

Lorsqu'on étudie l'action des forces motrices d'un corps, plusieurs circonstances sont à considérer; ce sont : 1°. leur intensité, c'est-à-dire l'énergie avec laquelle elles agissent, d'où résulte la vitesse de translation du corps. 2°. Ces forces peuvent agir d'une manière instantanée, comme un choc, ou constante, comme la pesanteur; il en résulte des mouvemens uniformes, accélérés, retardés, variés dans leur vitesse. 3°. Leur direction, d'où résulte le mouvement du corps, soit en ligne droite, soit suivant diverses courbes. 4°. Ces forces peuvent agir librement ou rencontrer des obstacles quelconques. Il en résulte alors des mouvemens composés; tel est celui du pendule, l'un des plus importans à étudier, et qui fournit un moyen sûr et facile de mesurer le temps. 5°. Enfin ces forces peuvent tellement se combiner dans leur

action sur un corps, qu'elles se détruisent mutuellement; alors il en résultera l'équilibre de ce corps. C'est dans cet ordre que nous examinerons les phénomènes du mouvement.

SECTION PREMIÈRE.

DE LA VITESSE.

46. Le repos et le mouvement sont indifférens aux corps, puisque l'inertie est une propriété générale de la matière. Tout corps mis en mouvement par une force quelconque doit donc le continuer indéfiniment, s'il ne rencontre aucune force opposée, et la vitesse de son transport d'un lieu à l'autre dépendra uniquement de l'énergie de cette force. C'est ce qu'exprime la première loi de Newton sur la théorie du mouvement, savoir : *que le corps immobile persiste à l'état de repos, et le corps rendu mobile à l'état de mouvement uniforme et en ligne droite, jusqu'à ce qu'une force motrice change leurs états de repos ou de mouvement.*

47. La translation d'un corps d'un lieu de l'espace dans un autre ne peut s'apprécier exactement que par la mesure de sa vitesse. Cette mesure nous est fournie par celle du temps, dont la comparaison de la position successive du même corps dans des lieux différens nous donne l'idée. Tout mouvement uniforme, semblable, composé d'une série de phénomènes appréciables, dont nous pouvons voir le commencement et la fin, est propre à nous donner une mesure du temps, et par suite de la vitesse. Tel était l'objet des clepsydres, *fig.* 13, instrumens qui étaient la mesure ordinaire du temps chez les Romains, et qui consistaient ordinairement en deux vases coniques opposés et communiquant par un petit trou; un des deux était rempli d'eau ou de sable, et lorsqu'il s'était

vidé dans l'autre on retournait l'instrument pour obtenir la même suite de phénomènes. Tel est aussi l'objet des montres à ressorts et des horloges à pendules, par lesquelles nous avons remplacé le moyen imparfait des clepsydres; car tandis que ceux-ci exigeaient continuellement la présence d'un observateur, les autres nous fournissent d'elles-mêmes, et sans soin, les plus longs et les plus courts intervalles des temps. Celui qui s'écoule entre deux retours consécutifs du soleil au méridien a été choisi pour base; on l'a divisé en vingt-quatre parties, ou heures, qui sont partagées en soixante intervalles nommés minutes. Ces dernières sont également divisées en soixante secondes. Certaines corrections sont nécessitées par l'inégalité du mouvement diurne qui fixe la durée des jours, mais ceci est du domaine de l'astronomie.

48. La mesure du temps nous permet d'acquérir une notion exacte de la vitesse; elle nous fera reconnaître qu'il y a des vitesses égales et inégales, des mouvemens rapides et lents, uniformes ou variés; elle nous fera reconnaître que la quantité de mouvement donnée à un corps par une force motrice quelconque dépend de la vitesse dont cette force était animée et de la masse de ce corps; ce qui nous conduira à la découverte de la seconde loi du mouvement de Newton, savoir : *que la mesure d'une force est donnée par le produit de la masse et de la vitesse du corps mis en mouvement.* En effet l'intensité de ce mouvement pour des masses égales est proportionnelle à la vitesse, pour des vitesses égales est proportionnelle à la masse La troisième loi du mouvement de Newton : *que quand deux corps agissent l'un sur l'autre, leurs actions et leurs réactions sont toujours égales à la somme des mouvemens dont ils étaient doués*, se déduit encore de ce que nous venons de voir; car si deux corps inertes,

de masse et de vitesse différentes, se rencontrent, leurs actions se combineront ; chacun d'eux devra acquérir un mouvement nouveau, et ce que l'un perdra profitera à l'autre. Il pourra même se trouver telles circonstances où, les réactions étant égales aux actions, le mouvement sera détruit de part et d'autre.

SECTION II.

DES DIVERSES SORTES DE MOUVEMENS.

49. Les forces peuvent imprimer aux corps des mouvemens uniformes et variés. Celui qui est produit par l'action instantanée d'un choc sur un corps inerte serait nécessairement uniforme, c'est-à-dire ferait parcourir au corps des espaces égaux dans des temps égaux, s'il ne rencontrait aucune résistance. Dans la mesure de ce mouvement, on commence toujours par le dépouiller de cette résistance, et on reconnaît alors, ainsi que nous l'avons indiqué ci-dessus, que la quantité de mouvement imprimé est proportionnelle à la vitesse du corps choqué ; mais ceci n'est vrai qu'en général ; car une foule de circonstances particulières viennent atténuer ou modifier l'application de la troisième loi de Newton. Parmi ces circonstances, celles dont l'influence est la plus difficile à mesurer sont la force de cohésion qui produit les divers états de mollesse et de dureté, et l'élasticité, qui renferme la compressibilité et la flexibilité. Dans le premier cas, on voit sur-le-champ que tant que le choc ne sera pas assez considérable pour rompre le corps en fragmens, son effet sera d'autant plus grand que ce corps choqué sera plus dur, et d'autant moindre qu'il sera plus mou. En effet, dans un corps dur il se communiquera de molécule à molécule très promptement, et son

effet ne sera pas atténué comme dans un corps mou, qui, en cédant et changeant de forme, rend le choc presque nul. Dans l'élasticité, on voit également que le choc aura d'autant plus de puissance que le corps sera moins élastique ; car la réaction, et par suite le partage du mouvement, seront alors d'autant plus faibles. On conçoit combien ces propriétés, tantôt réunies, tantôt séparées, modifient le mouvement produit par un choc ; et si on y ajoute les variations causées par la forme des corps choqués et choquans, par leur état d'agrégation, par leur masse, leur vitesse, la direction suivant laquelle ils se frappent, on reconnaîtra que rien n'est plus compliqué que l'étude de cette sorte de mouvement.

50. De plus, nous avons supposé qu'il était toujours uniforme, tandis que nous n'en rencontrons réellement pas de semblable dans la nature. Nous avons toujours à tenir compte des résistances occasionnées par le frottement et par le déplacement des corps environnans ; nous avons toujours au moins à apprécier la résistance de l'air, qui, malgré sa faiblesse, ne peut être négligée dans les recherches exactes. Mais ce n'est pas tout : la pesanteur est une force motrice universelle, à l'influence de laquelle nous ne pouvons nous soustraire ; les mouvemens variés qui résultent de son action viennent donc toujours compliquer les autres mouvemens.

51. Lorsque le mobile est sollicité sans cesse par l'impulsion d'une force motrice qui continue d'agir sur lui après son départ, il en résulte un mouvement varié que, pour plus de simplicité, on considère comme le résultat d'une multitude de chocs répétés. Il est facile de concevoir des forces dont l'intensité ne serait pas toujours la même ; mais la nature ne nous offre guère que des forces accélératrices constantes ; ce sont aussi les

plus importantes et les seules sur lesquelles nous nous arrêterons.

Toute force qui agit constamment produit un mouvement accéléré ou retardé, selon que le corps se meut dans sa direction, ou dans une direction opposée. Tel est le cas de la pesanteur, ainsi que nous l'avons vu dans le chapitre précédent; malgré que son intensité diminue à mesure qu'on s'éloigne de la terre, on peut en effet, dans les expériences ordinaires, négliger cette variation, et considérer la pesanteur comme une force d'une intensité constante. Une force de cette nature n'en agit pas moins sur un corps, qu'il soit en repos ou déjà en mouvement. Dans le premier cas, cette force sera la seule à apprécier; dans le second, elle modifiera le mouvement selon sa direction; elle s'y ajoutera, s'il a lieu dans le même sens; elle s'en retranchera, s'il a lieu dans un sens opposé, et alors elle détruira peu à peu la vitesse limitée de l'impulsion, l'anéantira tout-à-fait, et bientôt entraînera le mobile dans la direction qui lui est propre. C'est par la considération de cette action qu'on reconnaît que pour lancer un corps à une hauteur déterminée, il faut lui imprimer une vitesse d'impulsion égale à celle qu'il acquerrait en tombant de cette hauteur.

SECTION III.

DIRECTION DES FORCES ET DES MOUVEMENS.

52. La direction suivant laquelle agit la force motrice détermine celle du mouvement des corps. Il résulte de tout ce qui précède que cette direction ne peut être que rectiligne quand la force agissante est unique, qu'elle soit instantanée ou accélératrice; car le corps inerte qui lui est soumis ne peut de lui-même se dévier de la route dans

laquelle il a été lancé Mais quand plusieurs forces combinent leur action sur un corps, la direction du mouvement devient la résultante de l'action de ces diverses forces; et si l'une d'elles agit constamment, la direction du mouvement sera curviligne. Dans tous les cas la géométrie fournit graphiquement la direction du mouvement et la vitesse. Il suffit de prendre sur chacune des directions la longueur parcourue pendant l'unité de temps choisie, et d'achever le parallélogramme dont elle fournit deux côtés; la diagonale exprimera la grandeur et la direction de la vitesse. (Voy. *fig.* 14 et 15.)

53. Il est facile de comprendre qu'en combinant convenablement la direction et le mode d'action de ces forces, on pourra faire décrire à un point matériel toutes sortes de courbes, et avec toutes sortes de vitesses. Il serait inutile d'étudier tous ces différens mouvemens; mais nous devons nous arrêter sur celui qui est le résultat d'une première impulsion instantanée, combinée avec une force constante, dirigée vers un certain centre. Ces combinaisons de forces, désignées sous le nom de *forces centrales*, fournissent par leur décomposition les forces *centrifuges* et les forces *centripètes*, du jeu desquelles dépend le cours admirable de tous les corps célestes, ainsi que le mouvement des pendules.

Le corps soumis à ces deux forces est sans cesse sollicité dans deux directions différentes, qu'il faut décomposer afin de reconnaître leur puissance; en vertu de la force centripète, il tend constamment à tomber vers le centre d'attraction, et il l'eût fait avec une vitesse accélérée s'il eût été en repos lorsque la force a commencé son action; en vertu de la force d'impulsion le corps tend perpétuellement à suivre la ligne droite, et il prendrait en effet cette direction dès l'instant où

la force centrale cesserait d'agir. Il est maintenant facile de voir quelle route suivra le corps soumis à ces deux forces; ce sera évidemment la courbe que fourniront les diagonales de tous les petits parallélogrammes construits d'après la direction et la vitesse de chaque force, d'instans en instans, ainsi qu'on le voit dans la *fig.* 15, et que nous l'avons expliqué plus haut. Cette direction et cette vitesse de chacune des deux forces latérale et centrale pouvant se combiner de mille manières, il est évident que la forme de cette courbe pourra varier à l'infini, depuis le cercle jusqu'à l'ellipse la plus allongée et même la parabole et l'hyperbole (1). Les corps célestes qui composent notre système planétaire nous fournissent en effet des exemples de mouvemens exécutés suivant toutes ces courbes.

On peut de plus les rendre sensibles aux yeux en faisant mouvoir une boule suspendue à un fil. La pesanteur qui sollicite la boule à chercher la verticale remplace la force centrale, et l'impulsion qu'on lui donne la force latérale; en faisant varier celle-ci d'intensité et de direction, on fera décrire à la boule ou un cercle ou différens ovales. La tension de la corde d'une fronde, l'eau qui jaillit au-dessus des bords d'un vase qu'on fait tourner, nous donnent aussi des exemples de la force centrifuge ou tangentielle. Le renflement des planètes en général et du globe terrestre en particulier à l'équateur, en sont aussi un effet et une preuve.

---

(1) Toutes comprises au nombre des sections coniques.

SECTION IV.

DU PENDULE.

54. Les corps ne peuvent pas toujours obéir simplement à l'action des forces qui les sollicitent, c'est ce qui fait distinguer des mouvemens libres et des mouvemens dans des lignes données; ainsi le corps solide mis en mouvement par une impulsion qui ne passe point par son centre de gravité prend un mouvement composé 1°. d'un mouvement de translation, 2°. d'un mouvement de rotation autour d'un axe qui passe par le centre de gravité; la plupart des corps célestes nous offrent encore l'exemple de ces mouvemens complexes. Le mouvement du *pendule* est aussi du même genre.

55. Un corps pesant attaché à un axe fixe ne peut être en équilibre que lorsque son centre de gravité se trouve sur le prolongement de la verticale du point de suspension : si on écarte ce corps de cette position, il tendra à y revenir par la seule force de la pesanteur, et il s'en rapprochera en augmentant toujours de vitesse jusqu'à ce qu'il y soit arrivé. La pesanteur sera alors de nouveau détruite par la résistance de la suspension, mais la force d'impulsion contraindra le corps à continuer de se mouvoir en s'écartant de la verticale : la pesanteur agissant donc d'une manière contraire détruira bientôt l'effort de l'impulsion, et prendra le dessus. Il en résultera un mouvement oscillatoire qui serait toujours égal, puisque l'action de la pesanteur croît et décroît alternativement dans la même proportion, si aucun obstacle ne venait le modifier; mais la résistance du point de suspension, celle de l'air, la pesanteur du fil, sont des obstacles qu'il est impossible de détruire tout-à-fait.

56. Cependant les oscillations du pendule n'en ont pas moins des applications de la plus haute importance, et on voit que pour diminuer l'énergie des obstacles il faut suspendre à un fil très fin des corps pesans et compactes, *fig.* 16. D'ailleurs, dans les recherches de physique, on n'attache pas une très grande importance à obtenir dans les arcs que le pendule décrit une amplitude égale; on a principalement en vue d'observer la durée des oscillations, et on sait qu'elle est la même, soit que le pendule parcoure tout le demi-cercle, comme au moment où on le met en mouvement, soit que son mouvement ne soit plus sensible qu'au microscope, comme cela arrive encore quelquefois au bout de vingt-quatre heures. Cette propriété, conséquence de l'action de la pesanteur, est ce qu'on appelle *l'isocronisme* des oscillations; une autre propriété du pendule, qui dépend de la même cause, est que la durée des oscillations varie en raison de la longueur du pendule.

57. C'est après avoir reconnu ces propriétés du pendule qu'on est parvenu à en tirer de hautes conséquences. Ainsi le nombre égal d'oscillations pendant un temps donné dans le même lieu, prouve l'invariabilité de la pesanteur; l'augmentation de ce nombre quand on approche des pôles, la diminution quand on va vers l'équateur, prouvent l'affaiblissement de la pesanteur, et fournissent la mesure de l'aplatissement du globe : l'affaiblissement de la pesanteur est aussi prouvée par les légères différences qu'on reconnaît dans la marche du pendule sur de hautes montagnes; enfin il prouve que tous les corps acquièrent par la pesanteur la même vitesse dans leur chute, puisque la durée des oscillations est indépendante de la nature du pendule.

58. La durée des oscillations étant différente, selon la longueur du pendule, il était naturel

d'employer ce moyen pour la mesure du temps, puisqu'il offrait l'avantage de donner à chaque instant la durée voulue, et ensuite la conservait invariablement; c'est ce qu'on a fait, et maintenant toutes les horloges sont mises en mouvement par un pendule, nommé *balancier;* mais dans leur construction il s'est présenté une difficulté à vaincre : la chaleur dilate les corps, le froid les resserre, ainsi que nous le verrons plus tard; le pendule soumis aux variations de température change donc de longueur et par suite de vitesse dans ses oscillations, et, malgré la petitesse de cet allongement, il était important de ne pas le négliger. C'est au moyen des *compensateurs* qu'on est parvenu à remédier à cet inconvénient. Nous ne pouvons entrer dans le détail de leur construction; nous dirons seulement que la chaleur ne dilatant pas d'une manière égale tous les métaux, par exemple le fer et le cuivre, dans tous les compensateurs on a tiré parti de cette propriété pour conserver une longeur uniforme, malgré les variations de température, entre le point de suspension et le centre de la lentille, appelé centre d'oscillation; dans la plupart on obtient cet effet au moyen d'un système de tringles dans lequel celles qui soutiennent le pendule A B, *fig.* 17, sont d'un métal plus dilatable, et sont forcées de se dilater de bas en haut, tandis que celles qui tiennent au point de suspension C D, et qui doivent se dilater de haut en bas, s'allongent d'une moindre quantité; pour compenser exactement l'allongement de la verge du pendule, il ne s'agit donc que de combiner la longeur des tringles, de manière que l'allongement du cuivre, de bas en haut, compense celui de haut en bas de l'acier : on peut augmenter l'effet en réunissant plusieurs châssis de divers métaux, au lieu d'un seul, ainsi qu'on le voit dans la *fig.* 18.

SECTION V.

DE L'ÉQUILIBRE DES CORPS.

59. Nous venons de voir que la combinaison de plusieurs forces agissant en même temps sur un corps, détermine des mouvemens composés, et nous avons donné l'exemple de quelques uns de ces mouvemens; les forces peuvent aussi se combiner de telle sorte qu'un corps, sollicité dans différentes directions, demeure en repos; c'est ce qu'on appelle son *équilibre*. Le centre de gravité, soutenu en partageant en deux l'action unique de la pesanteur, est aussi une sorte d'équilibre : nous avons vu que c'était le cas des balances. Il est facile de trouver quelles seront les conditions de l'équilibre d'un corps, en lui appliquant les lois du mouvement que nous avons étudiées dans ce chapitre, et on voit en général qu'il faut que les forces soient opposées et égales, afin de se contrebalancer; mais, comme l'état d'agrégation des corps, que nous allons étudier dans le second Livre, apporte de grandes modifications dans les particularités des conditions nécessaires à l'équilibre, nous nous bornerons ici à ces considérations générales, et nous renverrons les détails aux chapitres suivans.

LIVRE SECOND.

DES PROPRIÉTÉS PARTICULIÈRES DES CORPS.

60. Les propriétés générales que l'observation et l'expérience ont fait reconnaître dans les corps, ont jusqu'ici fait l'objet de nos études ; la liaison des idées, les rapports des choses, nous ont quelquefois obligés de jeter d'avance un premier coup d'œil sur ce que nous étudierons tout à l'heure d'une manière plus approfondie, nous ont forcés d'étendre nos recherches sur des propriétés particulières à certains corps, mais dépendantes de celles plus générales qui nous occupaient ; enfin, d'ajouter à l'ensemble des phénomènes, afin d'en compléter la connaissance, l'énoncé des lois que le raisonnement ou le calcul ont déduit de ces mêmes phénomènes.

C'est ainsi que nous avons successivement reconnu que tous les corps sont matériels, étendus, divisibles, impénétrables dans leurs molécules constituantes, mais poreux dans leurs assemblages ; qu'ils sont tous plus ou moins élastiques ; que tous sont soumis à l'action de la pesanteur ; enfin, que tous étant inertes doivent nécessairement obéir aux forces motrices, ce qui détermine les conditions et les lois de leur mouvement ou de leur repos.

Après avoir parcouru de la sorte les propriétés communes à tous les corps, nous devons mainte-

nant acquérir sur eux des notions plus précises, plus spéciales; nous devons étudier toutes leurs qualités, tous les changemens dont ils sont susceptibles, toutes les actions qu'ils peuvent exercer; mais étendre de la sorte l'étude de la physique, ce serait y comprendre celle de tous les corps de la nature dans tous leurs états, sous toutes leurs formes, toutes leurs combinaisons. Voyons donc quelles limites circonscrivent le domaine de la science qui nous occupe.

61. L'étude de la composition intime des corps, des changemens de combinaison qu'ils éprouvent, est l'objet de la *chimie;* celle des corps célestes, de leur marche, leurs révolutions, leur constitution, est l'objet de l'*astronomie;* celle des différens phénomènes qui se passent dans l'atmosphère, des changemens qui y surviennent, est l'objet de la *météorologie;* la *géographie* et l'*hydrographie* s'occupent de l'état de la surface du globe que nous habitons, de sa forme, de sa mesure, des révolutions qui peuvent en modifier quelque partie; enfin l'étude des corps organisés et inorganisés, de leur formation, leur développement, leurs caractères spécifiques, est l'objet de la *minéralogie*, de la *zoologie* et de la *botanique*, qui se subdivisent elles-mêmes en plusieurs autres sciences. La *physique spéciale* n'a donc plus à considérer les corps que comme des assemblages de matière, susceptibles par conséquent de prendre divers états d'agrégation, et de subir dans ces états, par l'action de diverses forces ou de divers agens, des modifications qui pourront en tout ou en partie changer leurs propriétés.

62. L'état d'agrégation des corps et tous les changemens et modifications dont ils sont susceptibles, sont donc l'objet que la physique a principalement en vue : or, nous avons déjà eu occasion de dire que sous ce rapport on doit ranger les

corps en solides, liquides et gazeux; viennent ensuite les fluides impondérables, qui forment une classe d'êtres et d'agens tout-à-fait à part. Les divisions que nous devons adopter dans le reste de cet ouvrage sont donc déterminées.

CHAPITRE PREMIER.

DES CORPS SOLIDES.

63. Déja, en traitant de l'étendue et de la figure des corps, nous avons vu ce qui distingue les solides des autres corps : tout assemblage de molécules réunies par une force de cohésion ou d'affinité, et qui ne peut être séparé que par l'emploi d'une force quelconque, est un corps solide : tantôt la forme de ce corps et des parties qui le composent est régulière; c'est un *cristal*, et une autre science s'occupe de leur étude; tantôt elle est irrégulière, et on conçoit qu'il ne peut en être autrement, puisque la force de cohésion retient unies ensemble aussi bien deux molécules d'un tel corps que l'assemblage le plus considérable; c'est ce que nous avons vu également.

Déjà, au commencement du chapitre qui traite de l'élasticité, nous avons dit que l'état des solides devait être considéré comme celui dans lequel la force d'attraction l'emportait sur le principe répulsif, sans cependant détruire complétement son action; que les corps réguliers étaient le résultat d'une solidification libre, et les corps irréguliers d'une solidification précipitée, ou, en quelque sorte, forcée, gênée. La présence du principe répulsif dans les corps solides, que nous allons re-

connaître tout à l'heure d'une manière évidente, nous a fait concevoir sans difficulté la porosité de ces corps, leur élasticité, leur flexibilité, et plusieurs autres propriétés sur lesquelles nous n'avons pas dû nous arrêter, parce qu'elles sont généralement connues par l'usage de la vie commune.

Déjà nous avons suffisamment étudié la ténacité des corps solides, en parlant de leur ductilité et de la divisibilité dont leurs molécules sont susceptibles, tout en demeurant agrégées; plusieurs exemples remarquables ont été cités; nous nous sommes également occupés de la comparaison de la dureté des solides avec leur élasticité, leur malléabilité, en disant quelques mots des modifications que font subir à ces corps les opérations artificielles de la trempe, du recuit, de l'écrouissage.

64. Ces notions, qu'il était indispensable de présenter d'avance dans l'ordre que nous avons adopté, puisqu'elles étaient le développement et formaient le complément de l'objet de notre étude, qui d'ailleurs ne supposaient pour être entendues que la connaissance ordinaire qu'on a des corps solides, ne font pas moins partie des propriétés de ces corps que le physicien doit connaître; mais il serait inutile d'y revenir maintenant. D'un autre côté, l'étude des lois de la pesanteur, de son action, de la chute des graves, du centre de gravité et des balances; celle des lois et des conditions du mouvement, surtout en ce qui concerne la résistance, le choc, la masse des corps, renferment un grand nombre de notions entièrement et quelquefois spécialement applicables aux solides. L'objet de nos recherches sur ces corps se trouve donc déjà rempli en partie, et notre tâche pour l'exposition des propriétés qui leur sont particulières se trouve par là bien réduite : il ne nous reste plus pour la compléter qu'à étudier les conditions de

l'équilibre des corps solides, leur densité ou pesanteur spécifique, et les moyens de la mesurer; enfin les lois de leur dilatation, lorsqu'ils sont soumis à des variations de température, et la mesure de cette dilatation, ce qui comprendra les pyromètres.

SECTION PREMIÈRE.

ÉQUILIBRE DES CORPS SOLIDES.

65. L'ÉQUILIBRE d'un point matériel, sollicité par une seule force ou par des forces composées, ne présente aucune difficulté : il est évident que si la force est unique, il suffira, pour faire rester le corps en repos, de lui opposer directement une force précisément égale; c'est le seul cas où l'équilibre de ce corps soit possible. Si les forces sont composées, il faudra, par le parallélogramme des forces, en chercher la *résultante*, et appliquer à la direction de cette résultante une force qui puisse lui faire équilibre : quel que soit le nombre, la direction et la vitesse des forces, il sera toujours possible d'en trouver par là la valeur, comme de les ramener à une résultante unique, en les combinant successivement, et par conséquent d'établir l'équilibre en détruisant la puissance de cette résultante. Ainsi, dans la *fig.* 19, on voit que la résultante des forces F F est dans la direction M C, et que son intensité est fournie par la diagonale du parallélogramme *a b c d*. On lui fera équilibre au moyen d'une force égale appliquée en sens contraire au point C.

66. Si nous cherchons maintenant les conditions d'équilibre des corps solides, c'est-à-dire de l'assemblage d'un certain nombre de molécules réunies entre elles invariablement, la question sera plus compliquée. Nous pouvons d'abord supposer

le cas où un tel corps est attaché à un point fixe, autour duquel il peut seulement tourner; le corps sera en équilibre si les forces se dirigent vers le centre de ce point fixe; dans tous les autres cas, le corps prendra un mouvement de rotation dont la construction des parallélogrammes donnera également la direction et l'intensité, et qu'on pourra détruire par une force contraire.

Si nous supposons le corps solide libre, nous verrons que toutes les fois que les forces agiront dans un même plan, on pourra les réduire à une résultante commune, puisqu'on pourra les ramener à un même point d'application; et il en sera toujours ainsi, puisqu'on peut supposer ce point uni aux autres à cause de la rigidité du système. On peut regarder la ligne d'application des forces comme une verge inflexible qui transmet l'impression à tout le système, et le soutient lorsqu'elle est soutenue. Les forces égales ou inégales en intensité, qu'elles agissent sur des corps réguliers ou irréguliers, s'équilibrent de même; celles parallèles comme la pesanteur se ramènent au centre de gravité; mais toutes les fois que les forces qui agissent sur un corps solide étendu ne le font pas dans un même plan, il est facile de concevoir qu'on ne peut les ramener à une résultante unique, et alors, pour obtenir l'équilibre d'un tel corps, il faut détruire directement chacune de ces forces. On voit l'explication de ces différens cas dans les *fig.* 20, 21, 22.

67. Toute la théorie des leviers, des poulies, des roues, des treuils, du plan incliné, des vis, qui ne sont autre chose qu'un plan incliné contourné en spirale, résulte du développement et de l'application des lois de l'équilibre et de l'action des forces; mais leur étude appartient à la mécanique.

SECTION II.

PESANTEUR SPÉCIFIQUE DES SOLIDES.

68. Nous avons déjà dit que la *pesanteur spécifique* ou *densité* d'un corps, est la comparaison de son poids absolu avec le poids absolu d'un corps pris pour unité. L'eau distillée, et à son maximum de densité, est celui qu'on a adopté généralement comme terme de comparaison de la densité des corps solides et liquides ; ainsi on dit qu'un corps pèse une fois, deux fois, etc., ou un nombre fractionnaire plus ou moins que l'eau.

Il est évident que si l'on pouvait donner au corps dont on veut connaître la densité un volume exactement semblable à un volume d'eau convenu, par exemple, un centimètre cube, rien ne serait plus facile que de connaître cette densité par le procédé ordinaire des balances ; mais, pour beaucoup de corps, il est très difficile, et même impossible d'obtenir une telle égalité : on cherche donc la pesanteur spécifique par un procédé indirect.

69. Nous savons déjà qu'un corps plus lourd que l'eau perd de son poids la valeur exacte de celui du volume d'eau qu'il déplace ; et le grand Archimède, connaissant les rapports de densité de l'eau et de l'or, a pu par là déterminer la quantité d'argent renfermée dans une couronne qui passait pour être d'or pur. Ainsi la différence seule du poids de l'eau et du corps qu'on y plonge est fournie par cette opération ; c'est ce que nous cherchions : mais il est évident que si on force de se tenir immergé dans l'eau un corps plus léger qu'elle, la différence de leur poids en moins sera encore fournie par ce moyen. Rien n'est donc plus facile que de connaître la densité d'un corps qui ne se dissout pas dans l'eau, qu'il soit d'un seul

morceau ou en poussière, car cette circonstance ne change en rien sa pesanteur. Il suffit de peser exactement le corps dont on veut avoir la densité d'abord dans l'air; on pèse ensuite un flacon, ou tout autre vase, qu'on a rempli d'eau distillée; après ces deux opérations préliminaires, on introduit le corps dans le flacon, il chasse une partie de l'eau; on pèse le flacon de nouveau dans cet état, et la différence donne la densité du corps en plus ou en moins. Si le solide se dissolvait dans l'eau comme beaucoup de sels, on choisirait un autre liquide, comme l'huile, l'alcool, où il ne se dissolve pas : cela nécessite seulement une opération de plus pour connaître les rapports des densités des deux liquides.

70. Pour obtenir une grande précision dans les mesures de ce genre, il faut éloigner une grande cause d'erreur, c'est la présence de l'air ou de l'humidité autour du corps ou dans ses interstices. Plusieurs corrections sont encore à faire; on doit tenir compte de la dilatation des corps, ramener le poids de l'eau à celui de son maximum de condensation, et déduire la pesanteur de l'air.

La pesanteur spécifique peut encore se trouver en suspendant le corps à un fil attaché au plateau d'une balance, à la place du ballon de verre, dans la *fig.* 1, et le pesant d'abord dans l'air, puis plongé dans l'eau : on le peut encore au moyen de l'*aréomètre de Nicholson*, que nous décrirons en parlant des autres aréomètres.

SECTION III.

DILATATION DES SOLIDES.

71. Nous avons déjà annoncé que la chaleur avait la propriété d'étendre, de dilater tous les corps, et le froid de les resserrer, de les conden-

ser; la chaleur et le froid que nous connaissons ne sont pas absolus, mais relatifs : on ne doit donc pas être étonné que les effets dont nous venons de parler n'aient pas de limites connues. Le corps peut changer d'état d'agrégation; mais, dans ce nouvel état, la chaleur continue à augmenter son volume, le froid à le diminuer.

On conçoit combien il est important de connaître un effet aussi général, puisqu'il modifie la forme de tous les corps, et qu'on doit par conséquent en tenir compte, non seulement dans toutes les expériences de physique et de chimie, mais encore dans une infinité de circonstances qui intéressent les arts. Malheureusement la dilatation des corps ne suit pas une loi générale; le même changement de température ne dilate pas également tous les corps, et chaque corps ne se dilate pas également à tous les degrés de chaleur, ne se contracte pas également à tous les degrés de froid. C'est pour remédier à cet inconvénient que les physiciens modernes se sont livrés à des expériences très délicates pour dresser des tables de dilatation de presque tous les corps connus (1), et à toutes les températures naturelle et artificielle, que nous sommes à même d'observer et de produire. Il paraît cependant, pour les corps solides, que c'est la force de cohésion qui s'oppose à l'action de la chaleur; en conséquence, plus elle est considérable, plus la dilatation devra être faible : en effet, on remarque assez généralement que les corps les plus durs sont les moins dilatables, et MM. Dulong et Petit ont prouvé que cette dilatation augmente avec la température, et surtout en approchant du terme de la fusion.

---

(1) *Voy.* ces tables dans les Traités détaillés de physique et de chimie.

72. C'est au moyen des *pyromètres* que l'on cherche à déterminer la mesure de ces dilatations et de ces contractions. Il en existe un grand nombre, mais qui tous ont le grave inconvénient, tout en prouvant l'effet de la chaleur, de ne pas en donner la mesure exacte, et de ne pas être comparables comme le thermomètre, selon les degrés de température. Celui qui paraît le plus susceptible d'exactitude est simplement composé d'une barre de métal dilatable, A, B, *fig.* 23, contre laquelle est appuyée une aiguille qui tourne sur un cercle gradué, et donne ainsi la mesure de la dilatation de la barre : mais une grande cause d'erreur est la dilatation du support de la barre, dont l'effet s'ajoute au sien : il faut donc le rendre aussi invariable que possible, et le faire participer aux changemens de température aussi le moins possible. Pour les hautes températures, on se sert du pyromètre de Wedgwood, dont le zéro correspond à la chaleur rouge du fer, chaleur estimée équivaloir à 580° du thermomètre.

73. Nous avons vu ci-dessus comment on contrebalançait la dilatation des pendules au moyen des compensateurs. M. Breguet a profité de la propriété qu'ont les métaux de se dilater inégalement pour construire un thermomètre très sensible et très exact : c'est un assemblage de petites lames d'argent, d'or et de platine, contournées en spirale, et portant à leur extrémité une aiguille : le moindre changement de température fait tordre ou détordre la spirale, et tourner l'aiguille qui indique ce changement sur un cercle gradué. Cet instrument est représenté *fig.* 24.

74. Les effets de la dilatation des métaux sont d'une puissance énorme ; on ne connaît pas de force capable de leur résister : on en a tiré parti dans les arts pour renverser des obstacles, rapprocher des voûtes fendues, redresser des murailles, etc.

CHAPITRE II.

DES CORPS LIQUIDES.

75. Les corps que nous venons d'étudier ne présentent pas tous le même degré de solidité; les uns résistent à tous les chocs, font feu sous le briquet, les autres, comme les graisses, cèdent au moindre effort, ou paraissent prêts à se transformer en liquides, et en effet il en est ainsi; enfin une multitude de corps offrent tous les points intermédiaires entre ces extrêmes. Nous avons vu que la présence de la chaleur en plus ou moins grande abondance dans les interstices des corps, est la cause de ces différens degrés de mollesse et de dureté, comme des changemens d'état des corps; c'est ce que prouve le passage des solides en liquides; car élevons la température de quelques degrés, et nous verrons ces graisses se fondre, se transformer en liquide : continuons à l'élever, nous verrons d'abord le plomb, l'étain, puis l'argent, l'or, le fer, passer également à l'état liquide, après s'être successivement dilatés et ramollis de plus en plus : employons des moyens plus énergiques, comme les rayons solaires concentrés au foyer d'un miroir, ou la lampe à courant d'oxigène, et nous pourrons liquéfier des métaux, des pierres, une multitude de corps qui paraissent totalement infusibles.

76. Mais d'un autre côté, l'abaissement de la température présentera des phénomènes opposés; déjà les variations qui ont lieu naturellement au-

tour de nous sont assez fortes pour transformer l'eau en glace; mais abaissons la température artificiellement, ou même transportons-nous dans les régions septentrionales du globe, et nous verrons aussi le mercure devenir solide; en sorte qu'on peut considérer comme démontré, non seulement que la chaleur est la cause des changemens d'état des corps, mais encore que tous passeraient successivement d'un de ces états à l'autre, si nous les exposions à des variations de température assez fortes.

77. Nous avons vu qu'on devait regarder la liquidité comme un état dans lequel l'attraction moléculaire et la chaleur se faisaient exactement équilibre, et qu'un tel état devait se rencontrer bien rarement, puisque la température varie sans cesse : à la rigueur, il ne se rencontre même presque jamais. Cependant les liquides conservent cet état pendant des variations plus ou moins considérables; c'est la pression de l'atmosphère, et aussi du liquide sur lui-même, qui paraît être la cause de cette prolongation d'équilibre; car nous voyons l'évaporation, c'est-à-dire la transformation des liquides en vapeurs, augmenter à mesure que cette pression diminue. Nous verrons aussi que dès l'instant qu'un corps est à l'état de liquidité, il a une tension à se transformer en vapeurs d'autant plus grande, qu'il s'approche davantage du point d'ébullition; on reconnaît bien là l'effet du calorique, qui devient de plus en plus prépondérant sur l'attraction moléculaire : nous voyons aussi les corps les plus liquides, si l'on peut s'exprimer ainsi, où le calorique est plus puissant, avoir beaucoup plus de tendance à se réduire en vapeurs que les liquides gras ou visqueux, où la force de cohésion paraît un peu prépondérante : ainsi, tandis que le terme de l'ébullition pour l'éther est à 36°, pour l'eau à 100°, celui des huiles

grasses est d'environ 300°, et celui du mercure de 350°.

78. Les liquides que la nature nous offre à l'état pur sont en bien petit nombre; à peine pouvons-nous ranger dans cette classe l'eau, le mercure et quelques huiles grasses et essentielles. Mais si nous regardions comme des liquides différens tous ceux qui renferment des corps dissous ou mélangés intimement, si nous comptions parmi eux les humeurs animales, telles que le sang, la lymphe, et végétales, telles que la sève, les sucs propres, nous trouverions une quantité infinie de corps dans l'état de liquidité. Nous ne nous occuperons ici d'une manière spéciale que de l'eau, ce que nous en dirons s'appliquant d'une manière génerale à tous les liquides, et aussi de quelques uns de ceux dont l'usage est le plus fréquent en physique. L'étude de tous les liquides composés appartient à la chimie et à la physiologie.

79. Nous ne reviendrons point sur ce que nous avons dit de la porosité et de l'impénétrabilité, de l'élasticité, de la compressibilité de l'eau, des phénomènes qu'elle présente dans les tubes capillaires; on se rappelle en effet que si l'eau et les liquides en général semblent si pénétrables, cela tient à l'extrême mobilité et au facile déplacement de leurs molécules, que si, d'un autre côté, ils n'offrent presque aucune apparence de porosité, de compressibilité et d'élasticité, ces propriétés sont suffisamment prouvées par certaines combinaisons intimes, par les vibrations que ces corps communiquent, par la réflexion qu'ils éprouvent dans leur chute (1); que, d'après l'extrême mobi-

(1) MM. Canton et Parkins avaient déjà prouvé directement la compressibilité de l'eau dans des tubes très forts, et ils l'avaient estimé à 0,000044 et 48 par chaque pression atmosphérique. M. OErsted, par un

lité des molécules d'un liquide, il ne peut être en repos que lorsqu'il est de niveau par rapport à l'action de la pesanteur, et qu'aucune autre force ne vient troubler cet état, d'où il résulte aussi qu'il ne peut prendre d'autre figure que celle déterminée par les corps qui le contiennent; enfin on se rappelle que les phénomènes capillaires que présentent les liquides, aussi bien que les solides, viennent tous se montrer comme les effets d'une attraction à tres petite distance.

Pour compléter l'étude des liquides, nous devons donc maintenant nous occuper, 1°. de leur dilatation, qui a donné lieu à l'invention des *thermomètres*, l'un des instrumens les plus importans et les plus utiles en physique; 2° de leurs mouvemens et des conditions de leur équilibre, ou de l'*hydrodynamique* et de l'*hydrostatique*, sciences dans lesquelles on rencontre l'explication d'une multitude de phénomènes intéressans ou singuliers que présentent les arts et la nature, et qui conduisent à la construction de machines de la plus haute importance, ce qui forme même une science à part, l'*hydraulique;* cette partie de l'étude des liquides appartient plus spécialement à la mécanique et aux sciences physico-mathématiques : nous serons donc forcés de glisser sur elle avec rapidité; 3°. de leur pesanteur spécifique, ce qui nous conduira à la description des *aréomètres*, instrumens d'un très grand usage; 4°. enfin de l'ébullition, où nous verrons les liquides surchargés de calorique, changer de nouveau d'état, et en prendre un qui comporte l'absorption d'une plus grande quantité de chaleur.

---

appareil de son invention, représenté *fig.* 25, l'a prouvé d'une manière irrécusable; il l'a trouvé égale à 0,000045.

SECTION PREMIÈRE.

DILATATION DES LIQUIDES.

80. L'INTERPOSITION du calorique entre les molécules des corps liquides, comme entre celles des corps solides, les écarte les unes des autres, augmente leur volume sans augmenter leur poids, leur fait occuper plus d'espace; c'est sur ces principes que repose la théorie des thermomètres.

81. C'est un Hollandais, nommé Drebbel, qui en conçut la première idée; mais ce n'était qu'une ébauche imparfaite, comme la plupart des découvertes au moment où le génie de l'homme les tire du néant; bientôt Newton et l'Académie de Florence lui firent subir quelques perfectionnemens, et maintenant on ne se sert plus que des thermomètres construits d'après les principes de Réaumur et de Fareinheith.

Ces instrumens sont composés d'un tube de verre terminé par une boule, *fig.* 26. Il est bien important que ce tube soit calibré exactement, afin que les divisions soient aussi égales que possible; car ce n'est que pour les instrumens auxquels on attache une grande importance qu'on trace les divisions partiellement, en promenant dans le tube une petite colonne de mercure, et traçant les sous-divisions au moyen du vernier (1). On doit aussi choisir un tube étroit et une boule assez forte, afin d'obtenir des effets plus sensibles.

---

(1) Le vernier, *fig.* 27, est composé de deux règles dont l'une, le vernier proprement dit, portant un plus grand nombre de divisions sur son échelle, fournit sur-le-champ, et d'une manière très précise, les fractions des divisions tracées sur la règle principale.

On conçoit que si nous plaçons dans un appareil de ce genre un liquide quelconque, en vertu de la propriété de dilatation par la chaleur, de contraction par le froid qu'il possède, il montera ou descendra dans le tube en raison de la température, et si nous choisissons des bases invariables, pour nous servir de repaires et de mesures, rien ne sera plus facile que de connaître et de comparer les degrés de chaleur ou de froid observés avec cet instrument.

Nous avons vu dans le chapitre précédent qu'on appréciait les hautes températures au moyen des pyromètres; mais ils sont de peu d'usage. Les thermomètres au contraire, qui nous donnent la mesure exacte des moindres variations des températures ordinaires, sont d'une utilité journalière, et ont mille usages importans. L'intervalle qui sépare le degré de température où l'eau bout, c'est-à-dire se change en vapeur avec beaucoup de force, et celui où elle passe de l'état de glace ou de solidité à l'état liquide, fournit une mesure constante, appuyée sur deux bases fondamentales certaines, faciles à retrouver, et par conséquent très propres à servir de points de comparaison : aussi les physiciens de tous les pays furent-ils bientôt d'accord pour l'adoption de ces deux bases. En effet, ils avaient remarqué que dans des circonstances semblables, la liquéfaction et l'ébullition de l'eau se faisaient toujours au même degré de température; ils avaient de plus remarqué que ce terme était invariable tant que durait le changement d'état des corps; qu'ainsi quelle que soit la température à laquelle on exposait la glace fondante ou l'eau bouillante, jamais on ne pouvait leur faire prendre un degré de chaleur de plus, comme si chaque corps avait pour la chaleur une mesure de capacité déterminée, comme si, une fois arrivé à ce terme, la chaleur ajoutée servait

seulement à liquéfier ou vaporiser ce corps, ce que nous vérifierons en effet, et étudierons par la suite. Rien n'était donc plus précieux pour la construction d'un thermomètre qu'un tel point de comparaison constant et invariable.

82. Mais plusieurs causes d'erreur sont à redouter, plusieurs circonstances peuvent influer sur le degré de chaleur auquel l'eau change d'état; il faut d'abord qu'elle soit bien pure, car la glace ne se fond pas, l'eau ne bout pas à la même température, lorsqu'elles contiennent des sels en dissolution, ou quelque corps en combinaison ou en suspension; en second lieu, il est bien important de ne pas prendre de l'eau qui se gèle, mais de la glace ou de la neige qui fondent, car il arrive souvent que l'eau demeure à l'état liquide, au-dessous du point de congélation, et d'ailleurs la glace formée ne conserve pas invariablement la même température; enfin il faut tenir compte de la pression de l'atmosphère; car la vapeur d'eau ayant toujours cette puissance à vaincre devra employer des efforts proportionnés à sa force : on a choisi pour terme fixe de pression celui indiqué par une colonne de mercure de 76 centimètres de hauteur (28 pouces environ); c'est à cette hauteur moyenne du baromètre qu'on ramène toutes les opérations.

83. En théorie, tous les liquides peuvent servir de thermomètres; mais en fait, certains sont plus propres à cet usage que d'autres. Il paraissait naturel de choisir l'eau, ce liquide si répandu dans la nature, déjà employé dans l'opération; mais, outre que l'intervalle qui sépare ses changemens d'état ne comprend pas toutes les variations ordinaires de température, on reconnut bientôt, non seulement que sa dilatation augmentait en approchant du terme de l'ébullition, ce qui est commun à presque tous les liquides, mais encore qu'elle offrait cette singularité d'être à son plus

grand état de contraction à environ 5 degrés au-dessus du point de congélation, et ensuite par l'abaissement de la température de se dilater au lieu de se contracter. L'huile, employée par Newton, joint à l'inconvénient de sa viscosité, de sa demi-solidité, celui de ne pouvoir servir dans les basses températures; l'alcool, ou esprit de vin, a le désavantage de bouillir à une température très peu élevée, et en approchant de cette température, de se dilater inégalement; mais on peut remédier au premier de ces défauts, et ce liquide est de plus très propre à mesurer les températures fort basses : il est encore assez en usage; mais c'est surtout le mercure qu'on emploie. En effet il ne possède aucun des vices précédens; il est le liquide qui se dilate le plus également; son échelle de liquidité embrasse une grande étendue de variations de température, c'est-à-dire depuis environ 40° au-dessous de zéro jusqu'à 350° au-dessus du même terme; enfin il est sensible à la moindre variation.

84. Donnons maintenant une idée des détails de construction des thermomètres et de l'échelle de division qu'on y applique. On doit commencer par épurer complétement le mercure dont on doit faire usage, et, après avoir fait chauffer le tube et la boule afin de chasser l'humidité et une partie de l'air, on les plonge dans le mercure. Lorsqu'on juge qu'ils en contiennent une quantité suffisante (cette quantité varie en raison de la grosseur de la boule, de la longueur du tube, de l'étendue qu'on veut donner à l'échelle supplémentaire ou inférieure au zéro), on les descend dans un vase rempli d'eau en pleine ébullition, en les y faisant plonger le plus possible, et en les y tenant suspendus assez long-temps pour qu'ils se mettent en équilibre de température; on fera alors une marque à l'endroit où le mercure s'arrêtera, et on fermera le tube à la lampe si on veut un instrument qui

porte toute l'échelle, sinon on lui donnera la hauteur voulue après la seconde opération : celle-ci consiste à plonger le thermomètre dans la glace fondante, et à marquer l'endroit où le mercure s'abaissera. La *fig.* 28 représente un vase où les thermomètres ne plongent que dans la vapeur d'eau, laquelle a une température bien plus égale que le liquide.

C'est cet intervalle, donné sur chaque instrument par l'opération que nous venons de faire, que les physiciens n'ont pas partagé de la même manière. Réaumur l'a divisé en 80 parties, plaçant le zéro à l'endroit de la glace fondante. Les physiciens français, pour rendre les calculs plus faciles, ont divisé le même espace en 100 parties; en sorte que les degrés du *thermomètre de Réaumur* sont dans le rapport de quatre à cinq avec ceux du *thermomètre centigrade* ou *centésimal*. En Angleterre et en Allemagne, on se sert plus particulièrement du *thermomètre de Fareinheith*, dans lequel le même espace est divisé en 180 parties, mais où le terme de la glace fondante est marqué 32°, et par conséquent celui de l'eau bouillante 212°. Ainsi ses degrés sont, avec ceux du thermomètre centigrade, dans le rapport de neuf à cinq. Dans tous les cas on continue à tracer des divisions égales au-dessus et au-dessous des deux limites fondamentales, pour étendre le champ des observations.

85. La chaleur augmente le volume des corps, mais non leur poids; la dilatation des liquides peut donc encore se reconnaître en y pesant, à diverses températures, un corps solide dont on connaît la dilatation. En effet les solides, se dilatant moins que les liquides, le volume d'eau déplacé sera à peu près égal, que la température soit élevée ou basse; et, comme dans le premier cas l'eau est plus légère, le poids indiqué par le corps qui y est immergé sera plus considérable.

86. Nous avons dit que l'eau présentait cette singularité, qu'en approchant du point de congélation elle ne diminuait plus de volume selon la loi générale, mais se dilatait. Quelques autres corps présentent des anomalies analogues. Ainsi le fer fondu, le soufre, le bismuth, se dilatent en se gelant; le mercure se contracte, au contraire, d'une manière prodigieuse. Ce sont des faits particuliers qui ne peuvent renverser une théorie générale lorsqu'elle rend raison, calcule et mesure les phénomènes, et qui dépendent sans doute de l'arrangement que prennent les molécules des corps en passant de l'état de liquide à l'état solide. Le point du maximum de condensation de l'eau est 4° 4 (1); à 7° elle a la même densité qu'à 0°; entre 0° et 100°, l'eau se dilate de $\frac{1}{21}$ de son volume; l'alcool, de plus de $\frac{1}{10}$; le mercure, d'environ $\frac{1}{54}$.

87. L'eau présente encore une autre singularité remarquable, c'est de demeurer quelquefois liquide, quoiqu'à une température bien inférieure au terme de la congélation; mais, pour cela, il est nécessaire qu'elle soit parfaitement en repos, comme si les molécules pouvaient oublier de se placer de manière à devenir solides. Mais si on les retire de cet état de sommeil, pour ainsi dire, en donnant du mouvement à cette eau; si on leur fournit un point de ralliement en y plongeant un corps solide, et surtout un morceau de glace, on verra sur-le-champ toute la masse se geler.

---

(1) Un Anglais, M Chrichton, par des expériences récentes très délicates et par un procédé nouveau, a trouvé que c'était 5° 6. (Voyez *Annals of Philosophy*, for june 1823.)

SECTION II.

DE L'ÉQUILIBRE ET DES MOUVEMENS DES LIQUIDES.

88. L'EXTRÊME mobilité des particules des corps à l'état de liquidité détermine principalement les conditions de leur équilibre et les lois de leurs mouvemens. Sans cesse sollicité par l'action constante de la pesanteur, un tel assemblage de molécules ne peut être en équilibre ou en repos que lorsqu'il est de niveau, c'est-à dire présente une surface plane et horizontale, comme celle d'une mare tranquille. Tout corps liquide cherche donc constamment à se placer de niveau, et il se met en mouvement lorsqu'il n'est plus soutenu ou limité par la résistance des corps environnans. C'est donc la forme des corps solides qui détermine la figure d'une masse liquide.

Pour entendre parfaitement tout ce qui concerne l'équilibre des liquides, il est nécessaire de considérer les molécules comme entièrement impénétrables et incompressibles; et on le peut sans inconvénient, puisque ces propriétés y sont à peine appréciables. En effet, si nous cherchons maintenant à savoir dans quelle situation sont les particules d'une masse liquide dans ses diverses parties, nous verrons que celles de la surface ont tout le poids de l'atmosphère à supporter. En vertu de cette pression, comme en vertu de leur pesanteur, elles devraient donc tomber au fond de la masse; mais les molécules placées au-dessous leur offrent une résistance qu'on peut comparer à celle des parois d'un vase solide. Elles demeureront donc en place; mais elles feront supporter à ces molécules, immédiatement en contact, toute la pression de l'atmosphère, plus celle résultant de leur poids. Il en sera de même des molé-

cules placées au troisième rang, et ainsi de proche en proche jusqu'au fond du vase, lequel supportera lui-même la pression totale; de sorte qu'on peut apprécier cette pression en estimant celle d'un simple filet d'eau isolé dans un tube, *fig.* 29.

89. En vertu de l'impénétrabilité, un tel filet d'eau, élevé sur une large base, *fig.* 30, doit communiquer sa pression à toute cette base, ainsi qu'aux parois : car toute pression qui s'exerce sur un liquide n'agit pas seulement dans sa direction propre, mais se propage uniformément de tous côtés; c'est ainsi que s'explique cette proposition paradoxale, que la pression exercée dans ce cas est bien supérieure au poids total, au poids indiqué par la balance; et il ne peut en être autrement, à cause de la compensation établie par les pressions en sens opposés, ainsi qu'on le voit en P. et P'., compensation qui s'établit toujours exactement, quelle que soit la forme des vases; en sorte que la différence seule forme le poids du système entier.

L'équilibre des molécules liquides et la pression dans le sens horizontal, tant entre les molécules entre elles que contre les parois, s'apprécient également par la supposition idéale d'un simple filet liquide isolé dans un tube recourbé, *fig.* 31.

90. Ceci nous conduit à chercher l'équilibre des corps flottans dans les liquides ou à leur surface. D'abord il est évident que ceux qui sont beaucoup plus pesans tomberont au fond; ceux dont la densité n'est pas très supérieure commenceront par s'enfoncer; mais bientôt, la pesanteur du liquide augmentant la pression, ils pourront s'arrêter et demeurer en équilibre. Ils prendront dans le liquide la place indiquée par leur densité, de même que nous voyons les liquides de densité différente se superposer en raison de cette densité, et se placer horizontalement les uns au-dessus des

autres. Quant aux corps qui se tiennent à la surface des liquides, pour connaître leur position, il faut apprécier d'une manière rigoureuse la valeur du volume d'eau qu'ils déplacent comparée à leur pesanteur. Ainsi un corps très pesant, mais qui occupe un grand volume, pourra ne pas enfoncer dans un liquide; ainsi un bâtiment en fer pourra flotter à la surface, à cause du volume d'air qu'il renferme, et qui diminue sa pesanteur comparée à celle du volume d'eau qu'il déplace. C'est d'après ces considérations qu'on connaît, en construisant un bateau, un navire, combien il tirera d'eau, quel sera son tonnage.

Mais lorsqu'on veut déterminer le flottement d'un corps, cette considération ne suffit pas, il faut encore chercher la position du centre de gravité de l'eau déplacée et du corps flottant; car ce corps chavirerait immanquablement, si son centre de gravité n'était placé un peu au-dessous de celui de l'eau, et dans la même direction verticale. C'est pour arriver à ce but, ou contrebalancer la différence, que l'homme, dans la natation, est obligé de faire différens mouvemens pour se tenir à la surface de l'eau.

91. Il est peu de corps dont la densité soit précisément égale à celle des liquides. Si nous plaçons au fond d'un vase rempli d'eau un corps plus léger qu'elle, à sa surface des corps plus lourds, ces corps ne pourront demeurer en équilibre dans ces positions, et ils prendront des mouvemens que nous devons faire connaître. La force qui les fait mouvoir étant dans les deux cas l'action de la pesanteur, il est évident que l'un devrait s'élever, l'autre tomber d'un mouvement accéléré; mais il n'en est point ainsi. En effet, ce n'est que dans le vide qu'un tel mouvement peut s'établir; mais dans un milieu très résistant comme un liquide, la vitesse accélérée sera d'autant plutôt détruite,

que la différence de densité entre le corps et le liquide sera moindre, et dès cet instant ce corps tombera ou s'élèvera d'un mouvement tout-à-fait uniforme.

92. Occupons-nous maintenant des mouvemens des liquides eux-mêmes. Leur chute libre ne présente rien de particulier; une goutte de pluie suit la même marche que tout autre corps grave; mais c'est à la surface du globe, c'est surtout dans les canaux, les tuyaux, les vases de différentes formes, percés de différens orifices, que les liquides présentent les mouvemens les plus compliqués, les plus difficiles à apprécier et à calculer.

On conçoit qu'en quelque endroit que soit placé l'orifice d'un vase, et quelle que soit son ouverture, l'écoulement doit avoir pour mesure l'amplitude de cette ouverture et la hauteur de la colonne liquide. En effet, si nous isolons par un tube, *fig.* 32, la colonne qui est au-dessus de l'orifice, il est évident qu'elle tombera librement, et suivra par conséquent les lois de la pesanteur; mais dans les observations il n'en est jamais ainsi; c'est que plusieurs résistances, plusieurs forces, agissant en sens contraire, viennent détruire une partie de l'effet total, peuvent même l'anéantir entièrement. Ainsi d'abord dans un vase de forme très irrégulière, dans des tuyaux ou des canaux très contournés, les frottemens, les résistances perpétuelles que rencontrera le liquide embarrasseront sa marche, la ralentiront, lui feront par réaction résister à la portion du liquide qui le suit; en second lieu, à la sortie de l'orifice, et tout le long de sa route, si le tuyau est ouvert, à la résistance des parois viendra s'ajouter celle de l'air, différente en raison de sa densité, et surtout de ses mouvemens particuliers. C'est ainsi que la résistance de l'air cause souvent des débordemens, double ou annulle l'effet du flux et du reflux,

le retarde quelquefois de plusieurs heures. Enfin la mobilité même des molécules liquides concourt à produire une résistance assez puissante. En effet, dès que l'écoulement est permis dans une telle masse, chacune des molécules conspire pour y arriver; il s'établit une multitude infinie de courans en sens opposés, et très différens d'après la position de l'orifice, d'où résulte une diminution de vitesse qui atténue l'écoulement total. Par suite de ce concours de toutes les molécules vers le même point, il arrive aussi qu'elles continuent à converger vers le centre de l'orifice, lors même qu'elles l'ont dépassé; ce qui produit le même effet que si une partie de cet orifice était bouchée. Ce point de convergence est ce qu'on appelle la *contraction* de la *veine fluide;* on ne doit jamais la négliger dans l'appréciation des écoulemens qui ont lieu par des orifices percés en minces parois principalement.

93. Au surplus, en tenant compte des résistances que nous venons d'indiquer, la pression de l'air et la nécessité de se mettre de niveau, à cause de la pesanteur, expliquent tous les mouvemens naturels et artificiels des liquides. C'est ainsi que, dans les jets d'eau, le liquide s'élance en apparence contre les lois de la pesanteur, presque jusqu'à la hauteur du niveau qui le fournit; c'est ainsi que, cherchant toujours un écoulement, ne pouvant demeurer en repos que lorsqu'elle baigne tous les corps, que quand elle est en équilibre partout, l'eau remonte des cavités souterraines pour produire les fontaines et les sources, coule avec fureur dans les torrens, tombe des cascades avec fracas, coule paisiblement dans les ruisseaux et les rivières, dans les lacs et les étangs, n'a souvent que les mouvemens que les vents lui impriment, enfin s'introduit dans tous les corps pour remplir leurs interstices. L'étude de tous ces mou-

vemens naturels appartient à la géographie physique, comme celle non moins difficile, non moins étendue des mouvemens artificiels appartient à la mécanique et à la science des machines. Parmi ces mouvemens on doit surtout distinguer ceux de l'eau dans les tuyaux, dans les canaux de toutes sortes, enfin dans les nombreuses machines dont l'hydraulique a enrichi l'industrie humaine. Nous ne pouvons que les énoncer dans un ouvrage de la nature de celui-ci. (1)

SECTION III.

PESANTEUR SPÉCIFIQUE DES LIQUIDES.

94. La densité des liquides, de même que celle des solides, a pour terme de comparaison la densité de l'eau dans le vide et à son maximum de condensation, et leur pesanteur spécifique se mesure de la même manière, ainsi que nous l'avons vu dans le chapitre précédent. En effet, si nous pesons un flacon rempli d'abord d'eau distillée, et ensuite d'un autre liquide, nous aurons très facilement les rapports de densité entre ces deux liquides; de même, si nous déterminons les rapports de densité d'un corps solide avec l'eau, ou si nous les connaissons à l'avance, en plongeant le même corps dans un autre liquide, nous trouverons les rapports de pesanteur spécifique de ce second liquide avec le solide, et par suite avec l'eau; les mêmes corrections relatives à la pesanteur de l'eau et au changement de densité par suite de la dilatation causée par la température,

(1) *Voyez* le *Traité complet de Physique*, de Biot, 4 vol. in-8°; celui *du Mouvement des eaux*, de Mariotte; la *Mécanique hydraulique*, de Prony, etc. etc.

sont à faire, comme dans la mesure de la densité des solides.

95. Mais on peut aussi connaître la densité des liquides par rapport à l'eau, au moyen des aréomètres. Nous venons de voir qu'un corps flottant déplace un volume de liquide dont le poids est toujours précisément égal au sien, par conséquent qu'il s'enfonce d'autant moins que le corps est plus léger, moins dense. Nous venons de voir aussi qu'un corps ne peut flotter d'une manière stable que quand son centre de gravité est placé au-dessous de celui du liquide qu'il déplace : c'est sur ces principes qu'est basée la construction des aréomètres, *fig.* 33. Tous ont une boule A remplie de mercure dont la destination est de lester l'instrument, et de placer très bas son centre de gravité, de sorte qu'il flotte dans une position verticale.

Celui de Fareinheith, *fig.* 33, est composé d'un tube de verre cylindrique surmonté d'une petite cuvette B, et marqué d'un trait en C. Si, par des poids additionnels, on force l'instrument de plonger jusqu'à ce trait, ce qui s'appelle *affleurer*, il sera très propre à indiquer la pesanteur spécifique des liquides. En effet, le poids de l'instrument, plus celui qu'on met dans la cuvette pour le faire affleurer dans l'eau distillée au maximum de condensation, sont égaux au poids du volume d'eau déplacé ; il en sera de même dans un autre liquide, et les volumes deplacés étant semblables, la différence des poids additionnels fera connaître les rapports de densité des deux liquides.

L'aréomètre de Beaumé, *fig.* 34, est le même instrument gradué de manière à indiquer, par ses divisions, des centièmes, des millièmes d'alcool, ou de tel ou tel sel, tel ou tel acide, mélangés avec l'eau ; ainsi il faut un instrument particulier pour chaque espèce de liquide : on les nomme des *pèse-liqueurs*. Pour les construire, on plonge l'in-

strument dans l'eau distillée, et on marque zéro au point d'affleurement; on le plonge ensuite dans l'alcool le plus rectifié, dans la dissolution la plus concentrée, et on marque ce nouveau point d'affleurement 100 ou 1000; l'intervalle est ensuite divisé également, ou bien, pour plus d'exactitude, on trace séparément chacune de ces divisions en ajoutant dans l'eau, 1, 2, etc., centièmes de la liqueur ou du sel. On conçoit qu'en plongeant un tel instrument gradué dans une liqueur, le numéro de la division où il s'arrête indique le nombre de centièmes d'alcool ou de sel contenu dans ce liquide.

96. *L'aréomètre-balance*, ou de Nicholson, sert à la mesure des pesanteurs spécifiques des solides. C'est celui de Fareinheith auquel on ajoute à volonté un petit seau S, *fig.* 35. Voici son usage: connaissant le poids nécessaire pour faire affleurer l'instrument dans l'eau distillée, on place dans la cuvette B le corps dont on veut avoir la densité; il ne doit pas être assez considérable pour faire dépasser le point d'affleurement, car alors l'opération ne pourrait se faire; on ajoute à côté du corps des poids suffisans pour ramener l'instrument au point d'affleurement, alors on place le corps dans le seau, il perd de son poids celui du volume d'eau qu'il déplace, et les poids ajoutés pour ramener au point d'affleurement donnent les rapports de densité du corps et de l'eau.

SECTION IV.

DE L'ÉBULLITION.

97. Les corps prennent l'état de liquidité lorsque la force de cohésion se trouve balancée par la force de répulsion du calorique, mais un tel équilibre ne peut être de longue durée; aussi

avons-nous déjà annoncé qu'à peine devenu liquide, ce corps a une tendance à se réduire en vapeur, à passer à l'état aériforme. Nous avons vu également que tous les corps ne changent pas d'état au même degré de chaleur, et que tous ne conservent pas leur liquidité pendant les mêmes intervalles de température. Ainsi, l'eau qui est le liquide le plus important à étudier, se liquéfie à 0°, se vaporise avec violence à 100° ; mais dans tout cet intervalle, elle a d'autant plus de tendance à passer à l'état de vapeur, et elle se vaporise en effet d'autant plus que la chaleur est plus élevée. Dans ces phénomènes, il semble que la moindre quantité de calorique qui vient pénétrer un corps liquide rompt l'équilibre entre la force de cohésion, et dès lors exerçant sa puissance sur les molécules qu'elle rencontre, elle les fait passer à un état où elles sont presque entièrement sous sa dépendance. Nous verrons, dans le chapitre suivant, en traitant des vapeurs, qu'en effet tout le calorique ajouté sert à en produire, et que cette formation est indépendante de la pression des corps ambians. Ainsi, à température égale, il se forme autant de vapeurs dans l'air que dans le vide ; mais dans ce dernier cas la production est violente, presque instantanée, tandis que dans l'air elle est d'autant plus lente qu'il est plus dense ; il paraît donc qu'il ne fait que gêner, embarrasser le dégagement des vapeurs. Ainsi, dans la marmite de Papin, l'eau soumise à une pression énorme ne peut se vaporiser, ne peut bouillir ; mais si on lui livre une issue, elle s'élance avec une éruption terrible et avec une violence souvent effrayante.

98. Mais, sous la pression ordinaire de l'atmosphère, 100° de chaleur suffisent pour donner à la vapeur une élasticité égale à celle de l'air ; dès cet instant, l'eau ne peut plus augmenter de température, tout le calorique est employé à la for-

mation de la vapeur, qui se dégage avec d'autant plus de force que le foyer de chaleur est plus considérable : on dit alors que l'eau *bout*, ou est en *ébullition*.

Tels sont les phénomènes que tous les corps en général, et l'eau en particulier, nous présentent dans leur changement d'état. Prenant ce liquide pour exemple, nous le voyons d'abord de l'état solide passer à la liquidité, lorsque le thermomètre marque 0° ; nous voyons ensuite, à mesure que la température s'élève, sa tension à se réduire en vapeur, devenir plus forte, jusqu'à ce qu'enfin, à 100°, elle fasse équilibre à la pression ordinaire de notre atmosphère, estimée équivaloir à une colonne de mercure de 76 centimètres. A ces deux points extrêmes, dernières limites de la solidité et de la liquidité de l'eau, nous l'avons vu ne pouvoir prendre une température plus élevée sans changer d'état, et nous avons reconnu qu'il en était ainsi, parce que tout le calorique est employé dans le premier cas à liquéfier l'eau, dans le second, à la vaporiser.

CHAPITRE III.

DES FLUIDES AÉRIFORMES.

99. Dès qu'un corps est parvenu à l'état liquide, les continuels efforts du calorique lui font sur-le-champ manifester une tendance à se réduire en fluide aériforme ou élastique ; cette tendance montre d'autant plus d'énergie que la pression supportée par le liquide est moins forte, et enfin il arrive toujours un terme où l'intensité de la cha-

leur l'emporte sur la force de cette pression ; alors la température du liquide ne peut plus augmenter, il entre en ébullition, et tout le calorique qui pénètre entre ses molécules est employé à les faire passer à l'état de vapeur.

De même que nous avons vu, par l'abaissement de la température, les liquides redevenir solides, on devait s'attendre à voir les vapeurs repasser à l'état de liquidité par la même cause. C'est ce qui arrive en effet lorsque, d'une manière quelconque, le calorique qui maintenait un corps à l'état de vapeur lui est enlevé, l'affinité des molécules redevient prépondérante, elles se rapprochent et se déposent enfin sur les corps environnans, en petites gouttes liquides ; cet effet dépend de la tension de la vapeur; il peut donc se manifester à toutes sortes de températures, puisque la quantité de vapeur qu'un espace peut contenir est toujours d'autant plus considérable que la chaleur est plus forte.

Nous verrons, dans le Livre suivant, que dans ces différens passages successifs des corps de l'état solide à l'état liquide, et de l'état liquide à l'état gazeux, une grande quantité de calorique est absorbée, ne manifeste plus sa présence au thermomètre; elle est donc employée à maintenir l'état du corps, mais elle n'est point détruite, car elle reparaît en entier dans un changement inverse; aussi l'appelle-t-on chaleur latente.

100. Tous les corps ne se fondent pas, ne se vaporisent pas au même degré de chaleur ; nous avons vu un grand nombre de corps solides ne céder qu'à l'action des foyers les plus intenses; il en est plusieurs qu'on n'est pas encore parvenu à liquéfier; de même, dans l'état ordinaire des choses, un assez grand nombre de corps sont naturellement gazeux. L'air atmosphérique qui enveloppe le globe terrestre est, pour le physicien, le plus

important de ces corps, qu'aucune pression, aucun froid, ne peuvent ni liquéfier ni solidifier ; lui-même est composé de deux autres corps qui jouissent des mêmes propriétés, l'oxigène et l'azote : la nature nous en offre encore quelques autres, mais rarement à l'état libre. La chimie en a beaucoup augmenté le nombre, et parmi ceux qu'elle a découverts, on est enfin parvenu récemment à en liquéfier quelques uns par un froid et une pression très forte, ce qui prouve qu'il en serait de même des autres par une puissance encore supérieure. (1)

Quoi qu'il en soit, cette considération a fait diviser les fluides élastiques ou aériformes en *permanens* et *non permanens*, en *gaz* et en *vapeurs*. Les premiers sont éminemment compressibles et dilatables ; ils ne changent point d'état à quelque froid, à quelque pression qu'on les soumette ; les seconds ne peuvent supporter qu'un certain froid, qu'une certaine pression, ils ne jouissent des propriétés des gaz permanens que dans certaines limites, mais alors ils leur sont entièrement comparables. Nous traiterons donc des uns et des autres dans des sections distinctes, après avoir rappelé et complété en quelques mots la connaissance de leurs propriétés les plus générales.

101. La plupart des substances gazeuses sont invisibles, et cela ne doit pas étonner, car, puis-

---

(1) On peut voir, dans les *Transactions philosophiques* de la Société royale de Londres, et dans les *Annals of Philosophy*, les expériences et les découvertes de MM. Faraday et H. Davy, sur la liquéfaction des gaz, ainsi que les applications de la plus haute importance qu'ils doivent en faire pour remplacer les machines à vapeur. *Voyez* un extrait de leurs travaux dans les *Annales de Physique et de Chimie*, premiers cahiers de 1824.

que leurs molécules sont dans une continuelle répulsion, cherchent toujours à s'écarter davantage, les pores qui les séparent doivent être comparativement très vastes, et dès lors il n'est pas étonnant qu'à cause de leur ténuité, leur agrégation même ne soit pas sensible pour nos organes. Cette même répulsion doit nécessairement déterminer la figure de ces corps : ils ne peuvent, comme les solides, former des masses indépendantes des milieux environnans; ils ne peuvent, comme les liquides, se mettre constamment de niveau, ni n'occuper qu'une portion du vase dans lequel on les introduit : quelle que soit sa capacité, ils l'envahiront entièrement, ils s'insinueront dans ses moindres anfractuosités, en vertu de la continuelle domination du principe répulsif. Cependant, si dans ce vase on introduit deux gaz de densité différente, le plus lourd remplira dans ce cas l'office d'un liquide, et la surface qui les séparera sera horizontale.

Nous n'ajouterons rien à ce que nous avons déjà dit de la porosité et de l'impénétrabilité des corps aériformes, il suffit de jeter les yeux autour de soi pour reconnaître la première de ces propriétés; il suffit de réfléchir un instant pour voir que la résistance de l'air, ses mouvemens, l'obstacle qu'il présente à la chute des corps solides, la division qu'il produit dans la chute des liquides de manière à les réduire en pluie, sont des effets de la matérialité et de l'impénétrabilité de ses molécules. De même que dans tous les milieux, les corps ne peuvent se mouvoir dans les fluides aériformes qu'en déplaçant les molécules qui se trouvent sur leur passage, et l'on appréciera la perte de mouvement causée par cette résistance quand on saura qu'un boulet de canon qui, dans le vide, serait lancé à 17,000 mètres, dans l'air ne parviendrait qu'à 4,000.

102. Quant à la pesanteur des fluides aériformes, nous avons déjà eu occasion de la démontrer d'une manière irrécusable; nous avons vu qu'on devait en tenir compte dans l'appréciation de la densité des corps, comme dans la mesure de leur chute et de leurs mouvemens; nous y reviendrons d'ailleurs avec détail, dans la seconde section, en parlant du baromètre. Il en sera de même de l'élasticité et de la compressibilité des substances qui nous occupent, en traitant de la pression de l'air et des diverses machines dans lesquelles on peut le condenser ou le raréfier, et tout ce que nous dirons alors des gaz permanens pourra s'appliquer, mais dans des limites moins étendues, aux gaz non permanens qui vont nous occuper en premier lieu.

SECTION PREMIÈRE.

DES VAPEURS OU FLUIDES NON PERMANENS.

103. L'OBSERVATION des phénomènes qui se renouvellent chaque jour, et dans toutes les circonstances, fit bientôt remarquer que tous les liquides, lorsqu'ils n'étaient pas placés dans des vases hermétiquement fermés, diminuaient sensiblement de volume, et enfin disparaissaient totalement sans aucune cause apparente. Mais nous avons vu que si ce phénomène ne peut s'apprécier sans difficulté sous la pression et la température ordinaire de notre atmosphère, il se manifeste à tous les yeux lorsque nous élevons cette température ou diminuons cette pression, en un mot, lorsque le liquide entre en ébullition; nous voyons alors de toutes parts dans la masse fluide se former des bulles aériformes qui surmontent la résistance du liquide, et viennent crever à sa surface en la soulevant avec violence. A l'air libre, ces bulles

ne cessent de se dégager tant que le foyer de chaleur subsiste, et qu'il reste une goutte de liquide dans le vase, mais il n'en est pas de même dans un espace limité.

104. Quand on observe ce qui se passe dans un vase d'une certaine capacité dans lequel on a placé un liquide, on remarque d'abord que son volume diminue d'une certaine quantité, après quoi il demeure stationnaire; que la diminution se fasse rapidement comme dans l'ébullition, ou lentement comme dans l'évaporation, ces circonstances n'influent point sur le phénomène; mais si nous augmentons la capacité du vase, nous observerons une nouvelle diminution dans la masse liquide; il en sera de même si, sans changer la capacité, nous élevons sa température

Ces expériences nous permettent de conclure qu'un espace limité ne peut contenir sous une certaine température qu'une quantité déterminée de vapeur : mais il nous reste à rechercher quelle est cette quantité pour les vapeurs des divers liquides, soit dans le vide, soit dans les gaz, et à mesurer cette quantité que l'on nomme la tension de la vapeur; nous devons encore chercher à connaître les lois de la formation des vapeurs et de leur dégagement, l'espace qu'elles occupent sous une pression et à une température déterminées; enfin donner les moyens d'apprécier exactement la quantité de vapeur qui se trouve mélangée avec un gaz, ce qui est le but de l'*hygrométrie*.

§. I. *Formation des vapeurs.*

105. Le phénomène le plus remarquable que présente la formation des vapeurs, phénomène qui pourra même paraître singulier au premier coup d'œil, mais qui n'est que la conséquence et la démonstration de la cause qui le produit,

est le suivant : il se forme dans un espace déterminé, pourvu que la température soit égale, autant de vapeurs, que cet espace soit vide, ou qu'il soit déjà occupé par un fluide élastique d'une densité quelconque ; la formation de la vapeur présente seulement cette différence qu'elle est instantanée et violente dans le vide, tandis qu'elle se fait d'autant plus lentement que le gaz avec lequel elle doit se mêler est plus condensé.

L'opinion adoptée universellement par les physiciens il y a peu d'années, considérait l'évaporation comme produite par l'action dissolvante de l'air; cette opinion était encore professée en Allemagne en 1813, ainsi que le prouve le Traité de Physique mécanique de Fischer (1); mais les travaux de MM. Dalton et Gay-Lussac ont prouvé d'une manière irrécusable que la formation des vapeurs était entièrement indépendante de l'action de l'air, qui lui oppose au contraire une résistance mécanique, et qu'elle était due toute entière à la puissance du calorique, qui, éloignant les molécules liquides au point de les faire changer d'état, ne leur permet plus de rester dans un milieu d'une densité bien supérieure, et les force à se loger dans les interstices d'un corps dont les molécules sont à de grandes distances les unes des autres, comme les gaz.

106. L'évaporation dans l'air, ou dans tout autre gaz qui ne se combine pas avec la vapeur, est donc précisément la même que dans le vide, pourvu que ce gaz soit sec : la tension de la vapeur y est égale, et elle cessera de s'y former au même terme, c'est-à-dire lorsque son élasticité fera équilibre à la force expansive du liquide.

---

(1) *Voyez* l'édition de cette année 1813, traduite par M. Biot.

L'augmentation de l'évaporation par le renouvellement de l'air n'est point une preuve de son action dissolvante; elle est le résultat de la diminution de l'obstacle mécanique qu'il oppose au dégagement de la vapeur; car la portion d'air qui environne un liquide en évaporation est bientôt chargée d'une vapeur dont la tension égale celle du liquide : elle cesserait donc de se produire si cet air ne pouvait se renouveler et emporter cette vapeur, d'où l'on voit que le renouvellement de l'air est une cause puissante d'accélération dans l'évaporation, en livrant à la vapeur de nouveaux passages à envahir, de nouveaux interstices à remplir : par là on comprendra que la diminution du liquide sera proportionnelle à la surface exposée à l'air, et devra être plus considérable par un vent violent que par un temps calme; c'est ce qui se réalise chaque jour sous nos yeux.

107. Nous n'entrerons dans aucuns détails sur les nombreuses expériences aussi ingénieuses que délicates, au moyen desquelles les habiles physiciens que nous avons cités tout à l'heure sont parvenus à déterminer la tension des vapeurs des divers liquides selon les variations de la température, et à reconnaître qu'elle est la même dans le vide ou dans les gaz : il suffit d'avoir indiqué les résultats de leurs recherches; elles prouvent que dans un état limité la force de ressort, ou l'élasticité de la vapeur résultant de la température s'ajoute à celle du gaz, ce qui permet de la mesurer exactement dans toutes les circonstances où on la produit, soit dans le vide, soit dans un air sec. C'est ce qu'on peut faire au moyen du *manomètre :* cet instrument, *fig.* 36, est un baromètre dont la portion ouverte pénètre dans un ballon de verre, dans lequel on peut introduire tel gaz ou tel liquide, en telle quantité qu'on désire, ou bien y faire le vide. Dans cette expérience, comme dans

toutes les autres, on exprime la tension de la vapeur par le nombre de millimètres dont elle fait monter la colonne barométrique : ainsi, à la température moyenne de 10°, la tension de la vapeur d'eau est de 9 millimètres 47; si donc la pression ordinaire de l'air soutient le baromètre à 760^{mm} de hauteur, l'eau vaporisée dans l'instrument l'élevera de 9^{mm} 47, c'est-à-dire à 769^{mm} 47.

108. En étudiant ainsi la tension de la vapeur pour toutes les températures, on reconnaît qu'elle augmente dans une progression assez considérable à mesure que la température s'élève : il en est de même de la quantité de liquide vaporisé; ainsi entre 0° et 10°, il se forme moins de vapeur qu'entre 10° et 20°; ainsi à 20° la tension de la vapeur est plus que double de ce qu'elle était à 10°. Nous reconnaissons dans ce phénomène une action du calorique analogue à celle que nous avons remarquée en traitant de la dilatation des solides et des liquides.

109. Après avoir déterminé la tension de la vapeur d'eau pour les températures où l'on peut avoir occasion de l'observer, les mêmes physiciens cherchèrent à déterminer celle des autres liquides, et ils furent conduits à reconnaître cette loi générale très remarquable, que la variation de la force élastique de la vapeur, pour un même nombre de degrés du thermomètre, est la même pour tous les liquides, en partant pour chacun d'eux de la température où leurs forces élastiques sont égales; par exemple, où elles font équilibre à la pression de l'atmosphère : ainsi, sachant que l'eau bout à 100°, l'éther à 39°, nous voyons que la tension, la force élastique de leur vapeur, est alors précisément égale. Éloignons chacun de ces deux termes de la même expression de température, par exemple de 20°, nous trouverons dans ce cas les tensions encore exactement semblables.

110. On voit, d'après cette loi, que la tension à se vaporiser est bien faible à la température ordinaire, pour les liquides qui n'entrent en ébullition qu'à de hautes températures, comme le mercure. C'est une qualité qui le rend bien précieux pour une multitude d'expériences physiques et chimiques où il est nécessaire de faire le vide, ainsi que pour la confection des thermomètres et des baromètres. En effet ce liquide ne bout qu'à la température de 350° : à ce degré de chaleur, comme l'eau à 100°, la vapeur fait donc équilibre à la pression de l'atmosphère. D'après la loi que nous avons reconnue tout à l'heure, la tension de la vapeur du mercure à 250° ne sera pas plus forte que celle de l'eau à 0°, c'est-à-dire qu'elle fera monter le baromètre d'environ 5^{mm}. A 100°, cette tension sera donc la même que serait celle de l'eau à 150° au-dessous de zéro; elle sera par conséquent absolument inappréciable : le vide au-dessus du mercure pourra donc, à toutes les températures ordinaires, être considéré comme parfait.

111. Il résulte aussi de la même loi que les corps qui ne deviennent liquides qu'à de hautes températures ne doivent fournir aucune vapeur sensible : cependant plusieurs d'entre eux, comme le cuivre, le plomb, exhalent une odeur qu'on ne peut attribuer qu'à la volatilisation de leurs molécules. On ignore pourquoi cette espèce de vapeur ne manifeste aucune tension.

Les considérations précédentes portèrent naturellement les physiciens à rechercher si quelques corps solides ne fournissaient pas de vapeur, et ils reconnurent en effet que l'eau, même à l'état de glace, jusqu'à 40° au-dessous du point de la congélation, est encore susceptible de s'évaporer d'une manière appréciabe. M. Biot, à 20° au-dessous de 0°, estime sa tension égale à $1^{mm}\frac{1}{3}$, et

M. Gay-Lussac a confirmé ce calcul par expérience.

§. II. *Effets de l'élasticité et du dégagement de la vapeur.*

112. Nous venons de voir que la chaleur est la seule cause de l'évaporation, et que, dans un espace limité, il se forme autant de vapeurs dans un gaz, quelle que soit sa densité, que dans le vide : la force de ressort du mélange est donc augmentée de toute celle de la vapeur; mais à l'air libre, dans notre atmosphère, qu'on peut considérer comme un réservoir d'une capacité infinie, le même phénomène ne peut plus se présenter. En effet, l'air et la vapeur étant tous deux des fluides élastiques, tendent sans cesse à se mettre en équilibre et à se repousser; dans un espace libre, l'air chargé de vapeur doit donc se dilater jusqu'à ce que sa force de ressort, plus celle de la vapeur, soient égales à celle de l'air plus sec qui les entoure. Si cette dilatation ne peut avoir lieu, et que la vapeur continue à se former, la moindre cause devra produire une précipitation de cette vapeur; elle repassera à l'état liquide de différentes manières.

Ces principes donnent l'explication d'un grand nombre de phènomènes météorologiques qui se passent chaque jour dans l'atmosphère, tels que les vents locaux, les pluies; ils font aussi entrevoir la cause de la baisse générale remarquée dans le baromètre lorsque le temps doit être pluvieux : car il résulte des recherches de M. Gay-Lussac, qu'à la température et sous la pression ordinaire de l'air, la pesanteur spécifique de la vapeur aqueuse est de plus d'un tiers moindre que celle de l'air; à égalité de densité, égalité qui doit toujours s'établir dans une masse comme l'atmosphère, sans cesse en mouvement, sans cesse

en communication, l'air chargé de vapeur est donc spécifiquement plus léger que l'air sec.

113. La mesure de la force élastique de la vapeur a aussi été l'objet des recherches des physiciens, et ils lui ont reconnu une puissance énorme. L'eau, en se vaporisant à la température de l'ébullition, occupe un espace 1700 fois plus grand à l'état gazeux qu'à l'état liquide. D'après cela, on conçoit facilement qu'en déterminant la formation de la vapeur sous une haute pression, on pourra la rendre capable de vaincre la plus forte résistance; on pourra employer son effort comme force motrice dans toutes sortes d'appareils mécaniques : c'est ce qu'on avait réalisé depuis longtemps dans les diverses pompes à feu; mais c'est dans ces dernières années qu'en Angleterre, et en Amérique surtout, on a tiré de cette nouvelle puissance que l'homme peut pour ainsi dire diriger et augmenter à volonté, un immense parti. Non seulement on a remplacé par là la force des hommes et des animaux, mais aussi celle des eaux et des vents. On a appliqué la force de la vapeur à toutes les machines connues; les bateaux et les navires voguent au gré du pilote, malgré les courans et les vents contraires; les voitures marchent sans chevaux; enfin un Américain annonçait tout récemment être parvenu à diriger les ballons par le même moyen. Mais quels prodiges n'enfantera pas le génie de l'homme, quelles bornes pourra-t-on mettre à sa puissance, si par la compression de l'air, si par la force d'expansion des gaz liquéfiés, tels que l'acide carbonique, il parvient aux mêmes résultats en faisant varier la température seulement de quelques degrés, et nous touchons au moment où cette importante découverte va porter ses fruits!

114. La force de ressort des vapeurs, de même que celle des gaz, est toujours proportionnelle au

volume qu'ils occupent, en sorte que la quantité de fluide aériforme qui soutient une pression de 76 centimètres, en soutiendra une double si l'espace qu'il occupe est diminué de moitié. Dans cette condensation, on a rapproché les molécules du corps, et son élasticité est devenue beaucoup plus forte : dans le mélange qu'on fait de plusieurs de ces fluides élastiques, qu'ils soient ou non permanens, pourvu qu'ils ne soient pas de nature à se combiner, on rapproche également les molécules, et l'élasticité du mélange est précisément le résultat de celle de chacun des fluides pris à part.

115. Nous avons vu que lorsqu'on expose un liquide à l'air libre, il se dissipe graduellement; mais il est important de savoir en quelle proportion, avec quelle vitesse. Il était facile de prévoir que le liquide doit s'évaporer en entier dans l'atmosphère, qu'on peut regarder comme un manomètre infini : on devait conclure également des lois de la formation des vapeurs, que l'évaporation est d'autant plus intense que l'air est plus sec, et qu'elle serait nulle dans un air saturé d'humidité. En effet, M. Dalton a reconnu que l'évaporation est toujours proportionnelle à la tension de la vapeur : ainsi elle est plus rapide dans un air sec que dans un air déjà chargé de vapeur ; elle s'accélère à mesure que la température augmente ; elle est plus rapide pour les liquides dont la force élastique est plus considérable.

116. Les changemens qui surviennent dans l'état des corps modifient la tension de leur vapeur, et par suite leur évaporation : ainsi presque toutes les dissolutions salines n'entrent en ébullition qu'à une température plus élevée que l'eau pure, ce qui annonce une tension moindre; par conséquent, à température égale, l'évaporation d'une telle dissolution est moindre. Ce phénomène offre

cette particularité remarquable que la vapeur ne renferme pas un atome de sel, d'où il semblerait naturel de conclure que ce sel ne doit produire aucun changement dans l'évaporation. Pour concevoir cette singularité, il faut se représenter les couches de vapeurs appuyées les unes sur les autres, et se faisant ainsi équilibre en tout ou en partie. Celle qui touche la surface liquide a pour contrepoids de sa force élastique la tension avec laquelle le liquide est porté à émettre des vapeurs; en sorte que si, par une cause quelconque, la force élastique du liquide se trouve diminuée, cette couche de vapeur, pressée par celles qui sont au-dessus, et n'étant plus soutenue par la tension du liquide, devra s'y précipiter et se liquéfier; aussitôt les couches supérieures suivront la même route, jusqu'à ce qu'enfin l'équilibre se trouve rétabli.

117. Nous avons déjà annoncé qu'un corps ne pouvait se vaporiser sans absorber une grande quantité de chaleur, qui est à la vérité restituée lorsque la vapeur repasse à l'état liquide : mais cela nous amène à conclure que toute évaporation est une cause puissante de refroidissement. Par là se trouvent expliqués plusieurs phénomènes singuliers. Si l'on place au soleil un thermomètre dont la boule est enveloppée d'un corps humide, on verra le mercure s'abaisser : en effet le soleil, activant l'évaporation, cause une absorption du calorique qui se fait en partie aux dépens du thermomètre. Dans plusieurs pays, on met à profit cet effet pour rafraîchir et même congeler l'eau : pour cela on la met dans des vases poreux qu'on nomme alcarazas, susceptibles de tamiser le liquide en petites gouttelettes, ou bien dans des vases qu'on entoure d'un linge humide : on expose ces vases isolément à un courant d'air, ou bien on les fait osciller comme un pendule, en les suspen-

dant à une corde : la vapeur, qui se forme alors avec rapidité, enlève au vase et au liquide qu'il contient une grande quantité de chaleur, et abaisse leur température souvent assez pour faire passer l'eau à l'état de glace.

§. III. *De l'hygrométrie.*

118. L'eau, qui occupe une grande partie de la surface du globe que nous habitons, qui y est répandue, combinée, mélangée dans tant d'états, sous tant de formes différentes, s'évapore sans cesse ; notre atmosphère, receptacle de cette évaporation, n'est jamais entièrement purgée de vapeur aqueuse ; après s'en être imbibée petit à petit, après l'avoir conservée pendant plus ou moins de temps, elle la restitue par divers moyens, sous la forme liquide ou solide, lorsqu'elle y est en excès sous la pression et la température du moment : par là l'équilibre est rétabli ; il est même dépassé en sens contraire, de sorte que l'évaporation peut recommencer de nouveau. On conçoit que dans une multitude de recherches de physique et de chimie, de même que dans un très grand nombre de circonstances de la vie, dans le choix du moment favorable pour beaucoup de travaux de l'agriculture ou des arts, il est très important de connaître quelle quantité de vapeur aqueuse est mélangée avec l'air atmosphérique ou le gaz que l'on emploie ; c'est cette quantité de vapeur, désignée sous le nom d'*humidité*, d'*état hygrométrique*, qu'on cherche à mesurer, ou plutôt à montrer au moyen des *hygromètres* et des *hygroscopes*.

119. L'air ou un gaz quelconque exige pour être saturé d'autant plus de vapeur que la température est plus élevée ; ainsi on voit, d'après les tables de tension de la vapeur, qu'à 10° elle fait

équilibre à une colonne de mercure de 9^{mm}, ou à une colonne d'eau de 12 centimètres, tandis qu'à 0° son poids n'équivaut qu'à 5^{mm} de mercure. La quantité et le poids de la vapeur augmentent donc beaucoup avec la température, en sorte qu'on peut dire que plus il fait chaud, plus il y a de vapeur d'eau dans l'air. Rien n'est plus facile que de connaître la quantité et le poids de l'air et de la vapeur, en supposant que le premier est saturé; car, si le baromètre accuse à 10° une pression de 760^{mm}, nous n'aurons qu'à retrancher de cette somme le poids de la vapeur, c'est-à-dire 9^{mm}, pour avoir la densité de l'air. Mais il n'en est point ainsi lorsque l'humidité n'a pas atteint le degré extrême, et c'est alors qu'il faut avoir recours aux hygromètres pour apprécier, du moins approximativement, quelle quantité de vapeur est contenue dans l'air. Nous disons approximativement, car plusieurs causes d'erreur dépendant, soit de la température, soit de la nature des corps qu'on emploie, sont inévitables dans ces sortes d'instrumens.

120. Nous voyons la plupart des corps organisés, tant animaux que végétaux, éprouver de grandes variations par l'influence de l'humidité qui s'introduit en eux ou qui s'en dégage. Ils augmentent de volume, et en général s'allongent en raison de l'humidité; ils se resserrent en raison de la sécheresse. Par exemple, le papier, le parchemin, le bois, les membranes animales, s'allongent et s'agrandissent lorsque l'humidité augmente. Les cordes ne s'allongent pas à l'humidité, au contraire elles deviennent plus courtes, mais c'est par la raison qu'étant composées de filamens rapprochés, l'humidité augmente beaucoup leur grosseur; si elles sont tordues, la même cause les fera détordre. C'est sur ces principes que repose la construction d'un grand nombre d'hygromètres, appliqués aux cordes à boyaux; ils firent inventer

ces figures qui indiquent par leurs mouvemens la sécheresse et la pluie.

De tels instrumens pouvaient suffire pour des indications grossières; mais ils ne pouvaient fournir une mesure de l'état hygrométrique d'un gaz. De Saussure a le premier reconnu que les cheveux dépouillés de la substance grasse qui les enveloppe au moyen d'une lessive caustique, étaient doués des propriétés hygrométriques à un haut degré de sensibilité; qu'ils s'allongeaient alors de $\frac{1}{50}$; qu'ils étaient à peu près inaltérables aux températures ordinaires; qu'en raison de leur peu de volume ils agissaient promptement, et qu'enfin ils revenaient constamment aux mêmes points toutes les fois que l'humidité ou la sécheresse se représentaient au même degré. Les cheveux réunissaient donc toutes les qualités nécessaires pour faire un bon hygromètre.

121. De Saussure, pour rendre l'hygromètre à cheveu un instrument comparable, et qui puisse faire apprécier de légères variations, l'a construit tel qu'il est représenté *fig.* 37. Le cheveu, suspendu et tendu par un poids, est passé sur une poulie très mobile, qui porte une aiguille; cette poulie suit exactement tous les mouvemens du cheveu, et fait par conséquent mouvoir l'aiguille qui indique sur un arc de cercle gradué l'allongement et le raccourcissement que subit le cheveu, d'après le degré d'humidité de l'air qui l'environne. Quant à la manière de graduer le cadran, elle consiste à chercher les points extrêmes de sécheresse et d'humidité qu'on marque 0° et 100°, et on divise l'intervalle en cent parties égales; on obtient un air parfaitement sec en plaçant dans le vase où il est renfermé pendant au moins un jour des substances dessicatives, telles que la chaux; on le sature d'humidité en mettant dans ce vase un plat plein d'eau.

122. Ce ne sont pas seulement les substances organiques qui jouissent de la propriété hygrométrique; il paraît qu'un grand nombre de corps organisés, vivans, sont puissamment influencés par l'état hygrométrique de l'air, sont avertis d'une manière certaine des changemens qu'il éprouve Il n'est point étonnant que les végétaux, dont l'eau, soit liquide, soit en vapeur, est un des principaux alimens, manifestent sa présence ou son absence, son abondance ou son défaut, par divers phénomènes; mais quelle cause fait agir les animaux en raison de ces mêmes variations? L'un, par ses chants, annonce qu'une pluie bienfaisante va satisfaire les plantes altérées; d'autres, avertis que des torrens d'eau les menacent de leur chute, se hâtent de se rapprocher de leurs retraites, en ferment les issues, mettent leurs petits en sûreté; d'autres, à l'approche du temps pluvieux, se hâtent de satisfaire à leurs besoins, et se retirent ensuite dans un lieu d'abri; tandis qu'il en est qui semblent alors reprendre une vie nouvelle, et retrouver le bonheur et la santé. Le beau temps renaît, et avec lui la gaîté et les travaux ordinaires des uns, la gêne et l'état de malaise des autres; mais tous ont été prévenus d'avance des changemens qui se préparaient.

123. Un grand nombre de sels et de substances minérales sont également hygrométriques, c'est à-dire absorbent ou restituent l'humidité, en raison de l'état de l'air qui les environne; on désigne cette propriété des sels sous le nom de déliquescence; elle varie à l'infini d'après leur nature, chacun d'eux ayant pour l'eau une affinité différente.

SECTION II.

DES GAZ OU FLUIDES PERMANENS.

124. L'ÉTUDE des vapeurs comprend en partie celle des gaz, puisqu'ils ne diffèrent les uns des autres que par le plus ou le moins de constance dans leur fluidité élastique; notre tâche, à l'égard de ceux-ci, se trouve donc remplie jusqu'à un certain point. D'un autre côté, nous ne devons entrer dans aucun détail sur la nature et les combinaisons des différens gaz, puisque nous n'étudions que les propriétés physiques des corps en général; c'est à la chimie qu'il appartient de rechercher les lois de la composition des gaz, à les distinguer les uns des autres : pour nous, nous les considérons en masse, et tous nous offrent alors les mêmes propriétés. L'air atmosphérique est le gaz qui joue le rôle le plus important dans la nature par son action physique ou mécanique, seul objet de nos recherches; lui seul nous occupera donc d'une manière spéciale; mais tout ce que nous en dirons pourrait aussi bien s'appliquer à un gaz quelconque formant une grande masse.

125. Les fluides élastiques sont comme tous les autres corps des assemblages de molécules; mais, chez eux, elles sont placées à de grandes distances, en sorte que ces corps sont spécifiquement très légers, occupent un très grand espace, sont en général invisibles, se contractent et se dilatent d'une manière, pour ainsi dire, infinie, du moins pour plusieurs d'entre eux. Tous les phénomènes qu'ils présentent sont des conséquences inévitables des modifications qu'entraîne à sa suite une telle manière d'être; c'est ce qui va se développer d'une manière évidente. Nous reconnaîtrons d'abord que l'air est un corps pesant, mais

qui, à raison de sa légèreté spécifique, a dû être refoulé à la surface du globe; là, il forme l'atmosphère, dont nous mesurerons la hauteur et le poids au moyen du baromètre. Nous mesurerons ensuite la densité de ce corps si léger, et de plusieurs autres gaz à diverses températures, sous diverses pressions; nous retrouverons dans les gaz, et nous étudierons chez eux la propriété générale des corps de se dilater par la chaleur, de se contracter par le froid; enfin, nous les trouverons doués au plus haut degré de l'élasticité et de la compressibilité, et nous examinerons les phénomènes qui en sont le résultat dans la machine pneumatique, les pompes, les aérostats.

§. I. *Pesanteur de l'air.*

126. Jusqu'au temps où la physique commença à établir ses fondemens sur l'observation et l'expérience, c'est-à-dire jusqu'à Galilée, on n'eut aucune idée exacte de la pesanteur et de la pression de l'air; on supposait que tout espace était rempli de matière pesante, et que la nature avait horreur du vide : c'est ainsi qu'on expliquait l'ascension de l'eau dans les corps de pompe. Galilée avait entrevu que ce phénomène était produit par la pesanteur de l'air; mais il savait ce qu'il lui en avait coûté pour avoir démontré que la terre tourne autour du soleil, et il emporta son secret dans la tombe. Ce fut Torricelli, son élève, qui eut la gloire de lever tous les doutes par l'invention du baromètre.

On savait que, dans les corps de pompes, l'eau s'élevait jusqu'à trente-deux pieds, mais ne dépassait jamais ce terme. Le physicien que nous venons de nommer fit la même expérience sur le mercure. Pour cela, il remplit de ce liquide un assez long tube fermé à une de ses extrémités; il

le renversa en plongeant son extrémité ouverte dans un vase où il y avait aussi du mercure. Aussitôt il vit s'abaisser la colonne liquide renfermée dans le tube; mais, après plusieurs oscillations, elle demeura suspendue, ayant une élévation de 28 pouces ou 76 centimètres. Le mercure a une densité 13 fois $\frac{1}{2}$ plus forte que celle de l'eau; en comparant donc le poids de cette colonne de 28 pouces de mercure avec celle d'eau de 32 pieds, on reconnut qu'elles se faisaient exactement équilibre, et il fut démontré par là que la même cause, la pression de l'atmosphère, produisait l'ascension des deux liquides : telle fut l'origine du *baromètre*, l'un des instrumens de physique les plus importans, auquel on doit une multitude de découvertes de tout genre, et que nous devons par conséquent décrire avec quelque détail.

127. L'expérience de Torricelli, telle que nous l'avons indiquée, formait un véritable baromètre, mais il était fort imparfait, parce que ce physicien négligeait un grand nombre de précautions nécessaires. De plus, au lieu de plonger le tube dans une cuvette, pour ses baromètres, il employait des tubes recourbés, dont l'extrémité ouverte était fort courte; il faisait poser sur le mercure un poids exactement équilibré par un autre poids, et dont le fil qui les unissait passait sur une poulie; à cette poulie était fixée une aiguille qui amplifiait les variations, en les marquant sur un cadran. Tels sont les baromètres anciens dont on se sert encore pour indiquer la pluie et le beau temps, mais que l'expérience a prouvé être fort défectueux et très sujets à erreur.

128. Pour avoir un bon baromètre, dont on puisse regarder les indications comme la vraie mesure de la pression de l'atmosphère, il faut commencer par bien sécher le tube dont on veut se servir, en le chauffant fortement. On y intro-

duit ensuite le mercure par petites portions, et on l'y chauffe également au point de l'y faire bouillir, afin de chasser l'air qui peut être mêlé avec lui, et surtout la légère couche d'humidité qui reste attachée aux parois du tube; sans ces précautions, l'ascension du baromètre est au-dessous de la vérité; car, dès que le tube est renversé, le vide se forme au-dessus du mercure, et l'air, ainsi que l'humidité, par leur force expansive, s'y portent, et y font en partie équilibre à la pression de l'atmosphère.

Quant à la division qu'on applique à cet instrument, c'est une échelle métrique, partagée en centimètres et en millimètres, sur laquelle on fait glisser un curseur muni d'un vernier, et qui permet de porter la précision des observations à des 10es de millimètres. Quelquefois, de l'autre côté de l'enveloppe ou de l'appui du tube, on trace l'ancienne division en pouces et lignes, et on ajoute les indications vulgaires, pluie, variable, beau temps. La *fig.* 38 représente le baromètre de Fortin, le plus complet, le plus constant dans ses indications. Le tube y est enveloppé d'un cylindre de cuivre, et plongé dans une cuvette dont on augmente ou diminue la capacité, de manière à faire toujours correspondre le niveau du liquide de la cuvette avec le zéro de l'échelle.

129. La *fig.* 39 représente le baromètre à syphon, perfectionné par M. Gay-Lussac : c'est le plus commode pour les voyages; il est portatif, puisqu'on peut le mettre dans une canne, peu sujet aux accidens, et d'une exactitude à peu près égale à celle du précédent. Le tube en syphon de cet instrument offre plusieurs parties amincies et effilées, dont le but est d'empêcher l'introduction de l'air dans la longue branche, lorsqu'on renverse le tube, et d'éviter sa fracture. Les deux extrémités sont fermées, et l'air pénètre par un orifice

rentrant et capillaire, de sorte que le mercure ne peut s'échapper. Ce baromètre doit être muni d'une échelle mobile, dont on place le zéro au niveau du mercure de la branche la plus courte.

130. Dans tous les cas, un bon baromètre doit être accompagné d'un thermomètre qui fait corps avec lui; car puisque la chaleur dilate le mercure, elle le rend moins pesant sous un volume égal. Dans la mesure de la pression de l'air, on a donc toujours à faire une correction en raison de la température. Pour ramener les opérations à celle de 0°, il faut retrancher pour chaque degré au-dessus $\frac{1}{5412}$ de la colonne observée, et l'ajouter par chaque degré au-dessous.

131. Au moyen d'un des instrumens que nous venons de décrire, on reconnaît que la pression moyenne de l'atmosphère, la pesanteur de l'air à Paris, à la température moyenne de 12°, équivaut à une colonne de mercure de 76 centimètres. A une température égale, cette hauteur, mesurée au niveau des mers, est à fort peu près la même dans tous les lieux du globe, c'est-à-dire de 76 c. m. 29. Les variations naturelles de cette hauteur dans un même lieu sont d'environ 2 pouces 6 lignes. Les plus considérables qui aient eu lieu à Paris ont été observées par M. Arago le 25 décembre 1821, jour où le baromètre est tombé à 26 pouces 4 lignes; et le 9 février suivant, où il s'est élevé à 28 pouces 10 lignes. A mesure qu'on s'élève, soit sur les montagnes, soit dans les aérostats, l'air, étant déchargé du poids des couches inférieures, doit être moins pesant. C'est en effet ce que l'expérience démontre, et c'est sur ce principe qu'est fondée la mesure des hauteurs par le moyen du baromètre.

132. Rien ne serait plus simple que la mesure de ces hauteurs, ainsi que de celle de l'atmosphère, si l'air était partout d'une égale densité,

puisqu'on sait qu'à la température de 0°, et sous la pression de 76 centimères, le mercure pèse 10,463 fois plus que l'air. Mais ce gaz, étant éminemment compressible et dilatable, se raréfie à mesure que la quantité des couches supérieures qu'il a à supporter est moindre. Il faut donc faire entrer cet élément dans la mesure des hauteurs estimées au moyen du baromètre, en établissant le calcul d'après la loi de Mariotte, que les gaz se compriment et se dilatent dans le rapport inverse des poids dont ils sont chargés (1). Quant à la hauteur de l'atmosphère, qui serait d'environ deux lieues si l'air avait partout la densité que nous venons d'indiquer tout à l'heure, elle est encore fort indécise et très controversée; les uns regardent l'expansion de l'air comme indéfinie, d'autres l'estiment d'environ seize lieues; enfin un Anglais, la limitant au point où la force d'attraction du globe et la force d'expansion du gaz doivent se faire équilibre, l'a calculée d'environ 6. 6. milles d'Allemagne à la température de 0°, c'est-à-dire environ dix lieues communes.

133. Ce n'est pas seulement par l'expérience du baromètre qu'on reconnaît les effets de la pression, de la pesanteur, de la résistance de l'air. Nous en avons chaque jour mille exemples sous les yeux. L'ascension des liquides dans les pompes, leur suspension et la cessation de leur écoulement dans les vases qui n'ont pas de communication avec l'extérieur, l'élévation des aérostats et des corps légers dans l'air, sont des preuves de cette

(1) M. de Laplace a fait connaître la formule de ce calcul dans la *Mécanique céleste;* on la trouve aussi dans le *Traité général de Physique* de M. Biot; de plus on a dressé des Tables où la réduction est indiquée pour chaque variation de température.

pression. Lorsqu'on voit crever une peau épaisse sous laquelle on fait le vide, lorsqu'on voit se briser le vase qu'on prive d'air, lorsque la plus grande force est impuissante pour séparer les hémisphères de Magdebourg quand on y a fait le vide, lorsqu'on voit l'homme le plus robuste avoir peine à soulever le piston d'un cylindre où l'air ne peut pénétrer, comment pourrait-on méconnaître sa pesanteur et sa pression? Son poids est celui d'une colonne d'eau de 32 pieds; tous les corps exposés à l'air sont donc pressés à leur surface, comme ils le seraient par une colonne d'eau de cette élévation. C'est d'après cela qu'on a calculé qu'un homme supporte sur son corps une pression d'environ 20,000 kilogr. (40,000 livres). On dira peut-être qu'il est impossible d'admettre une telle pression, puisque nos mouvemens paraissent entièrement libres; mais les poissons qu'on a retirés d'une profondeur de 3,000 pieds étaient chargés du poids d'une colonne d'eau de cette hauteur, c'est-à-dire 80 fois plus lourde que notre atmosphère, et cependant leurs mouvemens n'en étaient pas moins libres que ceux des espèces qui habitent la surface des eaux, que ceux des animaux qui vivent dans l'air. Pour eux comme pour nous, la pression du milieu qu'ils habitent, s'exerçant en tous sens, se compense, se détruit entièrement, au moyen de l'impénétrabilité des molécules de leurs organes; la densité des fluides et des solides qui entrent dans leur organisation est appropriée à celle du milieu qu'ils doivent habiter; ces êtres y sont donc dans un état d'équilibre et de liberté parfait; ils ne souffrent que quand la densité de ce milieu vient à changer. C'est ce que nous voyons lorsqu'on amène à la surface les habitans des abîmes des mers; c'est ce que nous voyons lorsqu'on place un animal, une plante sous le récipient de la machine pneuma-

tique; les gaz renfermés dans leurs organes se dilatent, les liquides tendent à se réduire en vapeurs, une désorganisation complète a lieu. C'est par la même cause qu'en s'élevant sur les hautes montagnes ou dans les airs, au moyen des ballons, bientôt la respiration se trouve gênée, le sang sort par le nez, par les yeux, par les oreilles; quelques pas de plus, et il s'ensuivrait une mort certaine.

§. II. *Élasticité, compressibilité de l'air et des gaz.*

134. Nous venons d'indiquer plusieurs phénomènes, plusieurs expériences qui démontrent d'une manière irrécusable la pesanteur et la pression du fluide qui nous environne. Ils nous ont également donné une idée de la grande compressibilité et de l'énorme élasticité de ce gaz, que nous avons vu s'insinuer dans tous les interstices, remplir tous les vides des corps. Nous allons maintenant faire connaître plusieurs machines importantes qui mettront ces propriétés dans tout leur jour, et les forceront de produire des effets inattendus. Commençons par les pompes et les machines pneumatiques.

135. On a inventé, tant pour faire plusiurs expériences curieuses que pour le besoin des arts, un très grand nombre de pompes à liquides et à gaz, et on en a fait des applications sans nombre. Mais toutes, ainsi que les machines pneumatiques, se rapportent à deux sortes, la *pompe aspirante* et la *pompe foulante*, à laquelle on peut ajouter la *pompe composée*, c'est-à-dire qui réunit le jeu des deux premières.

136. La pompe aspirante est basée sur la pesanteur et la pression de l'atmosphère, d'où résulte une perpétuelle tendance à établir l'équilibre dans tous les corps. Elle est représentée *fig.* 40.

En élevant le piston P, on tend à faire le vide dans le corps de pompe; l'eau, pressée par l'air extérieur, monte donc dans le canal C D, puis dans le corps de pompe. Si on empêche son retour, au moyen d'une soupape S, on pourra abaisser le piston, et une seconde soupape S' lui laissant alors passage, l'eau montera par-dessus le piston; en élevant celui-ci de nouveau on la soulèvera, mais en même temps on fera de nouveau le vide, ce qui déterminera les mêmes effets; une nouvelle quantité d'eau montera dans le corps de pompe, puis au-dessus du piston lorsqu'on l'abaissera; et enfin, au moyen de ce jeu alternatif, elle arrivera à l'orifice O, par lequel elle s'écoulera. On conçoit sur-le-champ, d'après la pesanteur que nous avons assignée à l'atmosphère, que le corps de pompe ne peut avoir plus de 32 pieds; mais dès que l'eau a dépassé le piston, on peut l'élever indéfiniment.

137. La pompe foulante, *fig.* 41, est composée d'un tuyau T, plongeant dans l'eau, et qui permet son introduction jusqu'à une certaine élévation, au moyen de petits trous. Si, lorsque ce tuyau est ainsi en partie rempli, on abaisse rapidement le piston, l'eau se trouvera pressée et se précipitera dans le canal C, où une soupape lui livrera passage. En élevant le piston, cette eau tendra à retourner dans le premier tuyau; mais la soupape, s'abaissant aussitôt, lui interdira le retour; en sorte que, par cette action répétée, elle sera élevée jusqu'à l'orifice O, placé à telle hauteur qu'on voudra.

138. La pompe composée fait l'office des deux précédentes, dont elle réunit les avantages; il suffit de jeter les yeux sur la *fig.* 42 pour la concevoir parfaitement, et il serait inutile de la décrire. Toutes ces pompes sont d'un usage continuel pour élever l'eau et la distribuer où l'exigent

le besoin des arts et les commodités de la vie. En combinant la pression du piston et l'élasticité d'une masse d'air comprimée, on est parvenu à rendre le jet de ces pompes continu; ce qui est très utile, particulièrement pour celles à incendie.

139. La machine pneumatique n'est réellement autre chose qu'une pompe. Si on élève le piston dans un canal semblable à une seringue dont l'ouverture sera plongée dans un liquide, celui-ci, en vertu de la pression de l'air, s'y introduira et en remplira la capacité. Il est évident que si cette ouverture, au lieu de plonger dans un liquide, est fermée, la même opération fera le vide dans le tuyau; tel est le principe de la machine pneumatique. En effet, ajoutons à ce corps de pompe un ballon, comme on le voit *fig.* 43, ou faisons-le communiquer à un récipient ordinaire, *fig.* 44, sur lequel on peut placer une cloche, ou visser des tubes, des ballons, attacher des vessies, etc.; au bas du corps de pompe, ou mieux dans le piston lui-même, faisons une ouverture munie d'une soupape, de même que l'entrée du canal qui conduit au récipient; dans cet état, en élevant le piston P, l'air contenu dans le ballon se raréfiera; mais, en l'abaissant, la soupape S' lui interdira le retour; il ouvrira celle ajustée au piston, et s'échappera; si l'on élève de nouveau le piston, cette seconde soupape S fermera l'ouverture, et l'air du ballon sera de nouveau raréfié. En continuant ce jeu alternatif, on pourra le dilater de façon que sa densité soit presque insensible.

Dans une telle machine, la pression de l'air, surtout vers la fin de l'opération, oppose une résistance qu'on ne peut vaincre qu'en employant une très grande force, puisqu'elle est à peu près égale à celle qu'il faudrait pour soulever une colonne d'eau de 32 pieds; c'est dans le seul but

d'annuler cette résistance que l'on construit les machines pneumatiques telles que le représente la *fig.* 45; deux pistons s'élèvent et s'abaissent alternativement, de sorte que la pression de l'air sur celui qui s'abaisse compense et détruit la résistance exercée par la même force sur celui qui s'élève.

140. Pour apprécier le degré de raréfaction de l'air contenu sous le récipient de la machine pneumatique, on y fait communiquer un tube barométrique H, plongeant dans une cuvette remplie de mercure. A mesure que l'air se raréfie, le mercure monte dans le tube et indique le degré de dilatation. On se sert aussi, pour le même objet, d'une *éprouvette*, *fig.* 46; c'est une espèce de baromètre destiné à cet effet. On doit aussi, dans toutes les expériences de ce genre, placer sous le récipient des substances dessiccatives, pour absorber la vapeur d'eau qui se forme constamment par sa force d'expansion, et remplit le vase. Cette précaution est indispensable.

141. Nous ne décrirons pas les pompes à compression, au moyen desquelles on condense l'air et les gaz; on conçoit qu'elles doivent être formées par le même mécanisme que la machine pneumatique, mais agissant en sens contraire. Tous ces instrumens donnent des preuves irrécusables du ressort énorme des gaz. Une vessie flasque, à cause de la pression de l'air, mise sous le récipient de la machine pneumatique, s'y gonfle, et bientôt en remplit toute la capacité; une autre vessie, gonflée à l'air libre et mise sous le récipient d'une pompe à compression, devient flasque comme la première dans l'air.

142. Le syphon est aussi une sorte de pompe. Lorsqu'on y fait le vide, le liquide en remplit l'intérieur; mais bientôt, n'étant plus soutenu, il tombe et continue à s'écouler en empêchant l'air

de rentrer dans le tube. Le fusil à vent, les diverses espèces de soufflets, les fontaines intermittentes, de compression, de héron, présentent également des effets qui dépendent de la compression et de l'élasticité de l'air.

145. Les phénomènes aérostatiques sont aussi le résultat et la preuve de la pression et de l'élasticité de l'air et des gaz. Nous avons vu tout corps, plus léger que le milieu où il est placé, tendre vers sa surface, par conséquent s'élever. Mais de même que tous les liquides et tous les solides n'ont pas la même densité sous le même volume, de même certains gaz peuvent contrebalancer l'élasticité de l'air sans avoir une densité égale à la sienne : c'est sur ce principe qu'est fondée la théorie des ballons. Leur inventeur, Montgolfier, ne connaissant pas encore les rapports de densité des gaz, tira parti, dans ce but, de la propriété des corps de se dilater par la chaleur. Il construisit une sphère d'une grande dimension, ouverte à sa partie inférieure ; un filet suspendait à cette sphère une nacelle dans laquelle on allumait un fourneau ; aussitôt la chaleur dilate l'air du ballon, augmente sa force de ressort, et, devenu plus léger, il entraîne avec lui dans l'atmosphère le fourneau, le combustible et celui qui doit le diriger.

Ces aérostats étaient d'un usage dangereux. Ce fut M. Charles qui y substitua le gaz hydrogène, seul en usage maintenant. Les ballons sont faits avec du taffetas enduit d'un vernis composé d'huile de térébenthine et de gomme élastique. Le voyageur dirige à volonté son ascension ou sa chute, d'abord au moyen de sable qui lui sert de lest, et dont il se débarrasse selon les circonstances, et ensuite par le secours d'une soupape qui lui permet de laisser échapper une partie du gaz. Ce sont de tels ballons qui s'élèvent chaque jour dans les fêtes de la capitale : c'est dans un semblable aéros-

tat que M. Gay-Lussac est parvenu jusqu'à une hauteur de 7,000 mètres, la plus grande que l'homme ait jamais atteint. Là, ce savant intrépide respirait à peine, le sang sortait de ses veines de plusieurs côtés, et cependant il observait encore la hauteur du baromètre et du thermomètre, il recueillait l'air de ces hautes régions, mais enfin il fut à regret forcé de redescendre.

§. III. *Pesanteur spécifique de l'air et des gaz.*

144. La densité des fluides élastiques varie pour chacun d'eux aussi bien que celle des autres corps. Nous avons rapporté celle de ceux-ci à la pesanteur spécifique de l'eau, on pourrait aussi y rapporter celle des gaz; mais il est plus commode, à cause de leur grande légèreté, de choisir un d'entre eux pour terme de comparaison : l'air atmosphérique, qu'on peut sous ce rapport considérer comme toujours le même, a dû être choisi de préférence.

C'est donc le poids spécifique de l'air atmosphérique qu'on prend pour terme de comparaison de celui de tous les autres gaz. Pour le connaître exactement, on fait le vide le plus parfait possible dans un ballon de verre d'une capacité connue, et qu'on a préalablement bien desséché; on pèse alors ce ballon en l'accrochant au plateau d'une balance bien exacte, et l'on a son poids; si on y laisse entrer ensuite l'air, en le pesant de nouveau, la différence du poids indiquera la pesanteur de l'air qui a servi à remplir le ballon. De la sorte, on pourra connaître en grammes le poids de tel gaz ou telle vapeur qu'on voudra; on peut aussi, le poids de l'air une fois connu, y rapporter celui de tous les autres fluides élastiques.

145. Mais pour que cette opération donne des résultats conformes à la vérité, en l'exactitude desquels on puisse avoir confiance, il est néces-

saire de tenir compte d'un grand nombre de causes d'erreur dont l'effet serait considérable, à cause de la légèreté des corps qui nous occupent, même sous un grand volume. Il faut donc avoir égard d'abord à la température et à la pression tant de l'air extérieur que du gaz qu'on pèse, car le poids d'un même volume varie sous l'influence de ces circonstances; le thermomètre, le baromètre, l'éprouvette doivent donc être consultés dans ces sortes d'expériences. L'état hygrométrique de l'air et des gaz doit être connu très exactement, car la vapeur d'eau se mêlant aux gaz, elle a sa pesanteur propre, celle du mélange serait donc loin de fournir la densité réelle du gaz qu'on soumet à l'expérience; enfin, non seulement il faut connaître la capacité du vase qu'on emploie, mais encore il faut tenir compte des variations de dimension qu'il éprouve en raison de la température.

146. C'est en opérant de la sorte et en faisant toutes ces corrections qu'on a reconnu qu'un litre d'air pèse, à 0°, et sous la pression de 76 centimètres, 1 gramme 299. De même MM. Arago et Biot ont trouvé que, la densité de l'air étant prise pour unité, celle de l'oxigène était de 1. 1.; celle de l'hydrogène de 0,073; celle de la vapeur d'eau, 0,623, etc.

§. IV. *Dilatation des gaz.*

147. Les fluides élastiques sont soumis, comme tous les corps, à l'action du calorique; elle est même beaucoup plus considérable sur ces corps chez lesquels tout lien d'affinité est rompu. Par la même raison, on devait s'attendre que pendant toute la durée de l'état gazeux, la dilatation et la contraction seraient exactement proportionnelles à la température, et c'est ce que l'expérience a confirmé; aucun corps ne serait donc plus propre

que les gaz à former un thermomètre, et on en construit en effet sous les formes représentées par les *fig.* 47 et 48, dont la sensibilité est extrême, et au moyen desquels on peut apprécier les moindres variations de température. Cette grande dilatation est même leur principal inconvénient et une des causes qui leur a fait préférer les termomètres à liquides, pour l'observation des températures ordinaires; mais on ne doit point les négliger pour la mesure des températures très hautes et très basses, ainsi que pour être averti des plus petites variations. Ces instrumens sont en effet d'une telle sensibilité qu'il suffit d'en approcher de deux ou trois mètres pour les faire marcher par la chaleur du corps, et c'est encore ce qui rend leur usage peu commode.

148. C'est au moyen d'instrumens analogues, et en employant les plus grandes précautions, que M. Gay-Lussac est parvenu à prouver, par expérience, que tous les fluides élastiques, aussi bien les gaz permanens que les vapeurs, se dilatent et se contractent en raison de la température d'une manière uniforme et constante, pourvu que la pression demeure la même. Il a trouvé que cette dilatation, depuis la température de la glace fondante jusqu'à 100°, était égale à 0,375 de leur volume primitif à 0°; mais la dilatation suit la même marche au-dessus et au-dessous de ces deux termes, en sorte que l'action du calorique peut être regardée comme la seule cause de cette augmentation de volume des gaz, indépendante de la pression à laquelle ils sont soumis, cause qui agit toujours d'une manière constante et uniforme.

CHAPITRE IV.

DE L'ACOUSTIQUE ET DU SON.

149. Nous avons vu en étudiant l'élasticité des corps que leurs molécules, lorsqu'une force étrangère les contraint de sortir de leurs positions naturelles, tendent à y revenir par une suite d'oscillations isochrones, dès que cette force les abandonne à elles-mêmes; le calcul démontre que cet isochronisme, c'est-à-dire, cette régularité de mouvemens, dépend de la nature de la force agissante. Le son n'est rien autre chose que le produit de ces vibrations devenues très rapides, que le résultat du mouvement des molécules des corps, lequel se communique de proche en proche et parvient enfin à l'organe capable de l'apprécier. Nous verrons en effet, par la suite, que l'oreille compte pour ainsi dire le nombre des vibrations pour en composer la valeur des sons et s'en former une idée. On nomme *acoustique* la science qui recherche les lois de la formation, de la propagation, de la transmission, de la marche de ces mouvemens, enfin qui traite du son en général.

Nous avons dû traiter du son après nous être occupé de l'air; car, si tous les corps sont susceptibles d'entrer en vibration rapide, et par conséquent de devenir sonores et de transmettre le son, cependant, dans les cas ordinaires, quelle que soit la cause productrice du son, c'est l'air qui en est le véhicule. On peut même dire qu'à l'exception d'un très petit nombre de sons produits dans l'intérieur de notre corps, et dont on ignore

le mode de perception, tous nous parviennent au moyen de l'air, puisque c'est ce fluide qui remplit la cavité intérieure de notre oreille.

150. La variété des sons est infinie, et si la science est parvenue à découvrir la cause de leurs principales modifications, il en est encore plusieurs qui lui ont échappé. Ainsi, non seulement on perçoit des différences entre un son grave ou aigu, fort ou faible, mais encore on juge souvent avec la plus grande exactitude la nature du corps sonore à la qualité du son qu'il produit. On distingue la voix humaine, celle de chaque animal, le son de chaque instrument; le sifflement des vents, le murmure des eaux, toutes les sortes de bruits produits par un mouvement, un frottement, un choc quelconque, sont aussi des sons dus à la même cause, les vibrations des corps, mais qui offrent mille variétés inexplicables, et que cependant notre organe sait apprécier.

151. L'étude complète des sons doit se diviser en trois branches qui appartiennent à trois sciences distinctes. Celle qui s'occupe de la comparaison et des rapports des sons dans le but de rechercher quels sont les plus agréables à l'oreille, ceux qui produisent sur l'imagination l'effet le plus puissant, comprend l'*art musical;* cette science est étrangère à notre objet, mais nous verrons les règles de la mélodie et de l'harmonie découler des rapports naturels des vibrations et de la formation des différens sons; nous verrons que la gamme musicale paraît devoir son origine à un sentiment intime des vrais rapports des sons, rapports basés sur le nombre des vibrations du corps sonore. Une étude dépendante de l'art musical est celle de la nature, des ressources, de l'emploi des différens instrumens, ce qui n'est point de notre domaine; mais nous donnerons une idée des principes sur lesquels reposent leur construction et leurs effets.

L'étude des organes au moyen desquels l'homme et un très grand nombre d'animaux perçoivent les sons et en produisent pourrait encore être considérée comme une dépendance de l'acoustique; mais c'est évidemment à la physiologie et à l'histoire naturelle qu'il appartient de faire connaître la construction de ces instrumens si bien appropriés à leur but, si bornés et si simples en apparence, mais en réalité si étendus, si puissans, si parfaits, qu'on a peine à s'expliquer leur manière d'agir.

Il reste donc à la physique spéciale les recherches qui ont pour objet la formation du son par le mouvement vibratoire des corps; elle doit ensuite étudier le mode de transmission et de propagation des sons, dans les différens milieux, selon les diverses circonstances, ainsi que la vitesse et la route qu'ils suivent quand ils rencontrent quelque obstacle; enfin il lui appartient de comparer les différens sons, abstraction faite de la sensation qu'ils produisent, et dans leurs rapports pour ainsi dire mécaniques.

SECTION PREMIÈRE.

FORMATION DES SONS.

152. Pour se faire une idée de la formation du son et reconnaître qu'il est produit par les vibrations des corps, il suffit d'observer avec attention ce qui se passe dans un corps sonore, tel qu'une corde à boyau, ou une verge métallique tendue. On verra d'abord que dès qu'on aura écarté cette corde de sa position naturelle, elle tendra à y revenir par un mouvement vibratoire, par une suite d'oscillations; le calcul prouve que le nombre de ces oscillations doit être d'autant plus considé-

rable que la corde est plus tendue ou moins longue; en effet, l'expérience fait d'abord remarquer dans la corde des vibrations lentes, on peut facilement les compter, mais alors aucun son appréciable à nos organes n'est produit; mais si on augmente la tension, si on diminue la longueur de la même corde, aussitôt le nombre des vibrations augmente, on les aperçoit encore, mais sans pouvoir les compter, le son se forme; et si l'on fait varier successivement la longueur ou la tension de cette corde, on pourra lui faire produire tous les sons depuis le plus grave jusqu'au plus aigu.

153. Tous les corps sont poreux et impénétrables, tous sont plus ou moins élastiques, tous peuvent donc produire et transmettre des sons; mais ils jouissent de cette propriété à des degrés différens, et il en résulte, soit dans l'intensité, soit dans la qualité des sons, des variétés infinies. Mais quel que soit l'état du corps, c'est toujours parce qu'il exerce des vibrations qu'il devient sonore; on conçoit que sa forme, sa composition, sa densité et plusieurs autres qualités semblables, influent nécessairement sur les oscillations que font ces molécules; on ne devra donc pas s'étonner de rencontrer tant de diversité dans les sons produits, d'en entendre de confus, de sourds, d'agréables, de discordans, etc., etc. Un effet compliqué ne peut donner un résultat simple.

154. L'air est de tous les corps celui qui mérite le plus de fixer l'attention sous le rapport de la sonorité. D'abord comme étant l'enveloppe presque universelle des corps, et surtout de l'organe au moyen duquel nous percevons les sons, il en est pour nous le principe propagateur; sans lui, la plupart nous seraient inconnus. En second lieu, par son homogénéité, l'air jouit de l'avantage de produire des sons constamment comparables, et

de transmettre ceux que d'autres corps ont produits, sans leur faire subir la moindre altération; c'est un fidèle interprète qui, s'interposant entre notre oreille et les corps sonores, nous traduit exactement, et dans le plus grand détail, l'expression de leur langage, c'est-à-dire tous leurs mouvemens les plus compliqués.

155. Quoi qu'en aient dit quelques savans, l'air est le véhicule ordinaire du son, et il est inutile de confier cette charge à un fluide particulier. L'explication satisfaisante de tous les phénomènes, des expériences décisives ne permettent plus de douter que ce ne soit l'air qui, en se mettant en rapport, en prenant l'unisson des vibrations des autres corps, nous rapporte la sensation des sons qu'ils produisent. Une de ces expériences les plus démonstratives est celle par laquelle on voit que le son ne peut se produire dans le vide; en effet, si l'on suspend sous la cloche de la machine pneumatique un timbre ou une sonnette, en vain on les verra battre et s'agiter, aucun son ne sera produit; mais dès que la plus petite quantité d'air y rentrera, un son d'abord très faible sera produit, et il augmentera à mesure que l'air deviendra plus dense. De plus, des expériences toutes récentes de M. Savart ont prouvé que l'air, toutes les fois qu'il devient sonore, prend des mouvemens entièrement comparables à ceux des cordes vibrantes, et l'on sait que, pour ces dernières, les sons produits et les vibrations exécutées ont été soumis à l'examen sévère du calcul.

156. Si l'air est pour nous le véhicule ordinaire des sons, il n'en est point le seul générateur, le seul propagateur, ainsi qu'on l'a pensé pendant long-temps. Il est reconnu maintenant que tous les corps solides, liquides et gazeux sont susceptibles de produire et de transmettre les sons; et d'abord, pour ces derniers, les recherches des

physiciens ont fait voir qu'à densité égale, les gaz et les vapeurs transmettent les sons absolument de la même manière que l'air. Quant aux liquides, on sait qu'ils propagent le son avec beaucoup plus d'intensité et de vitesse que les gaz. Lorsqu'on est plongé sous l'eau, on entend non seulement les bruits extérieurs avec beaucoup de force, mais aussi ceux qui se produisent dans le liquide ; enfin, on sait qu'on peut habituer les poissons d'un étang à s'assembler au son d'une cloche On sait également que les solides transmettent les sons avec beaucoup de netteté et de promptitude ; mais le mode de transmission paraît être influencé d'une manière puissante par leur contexture. Qui ne connaît cette expérience, que le choc d'une tête d'épingle s'entend distinctement d'un bout à l'autre d'une poutre très longue, et ne se transmet point dans le sens transversal ? Mais M. Biot, dans des tuyaux de conduite qui avaient plus de 900 mètres de longueur, ne s'est pas contenté de constater que la fonte transmet le son, en observant qu'il en entendait deux séparément, l'un transmis par les tuyaux, l'autre par l'air qui y était contenu, mais il a aussi mesuré sa vitesse de transmission dans ce métal, et constaté qu'elle était infiniment plus rapide que dans l'air. Ainsi, on doit conclure de tous ces faits que la densité, si elle n'est pas la seule cause des variations qu'on remarque dans la vitesse de propagation des sons, en est du moins la plus influente.

157. Dans la plupart des expériences qui ont pour but la détermination des phénomènes du son, on les produit en faisant vibrer un corps solide, lequel transmet son mouvement aux couches d'air environnantes, et donne naissance à des ondes sonores qui se propagent circulairement de proche en proche et dans tous les sens. Les cordes ou les verges élastiques sont les substances

les plus propres à ce genre de recherches, et on s'y livre ordinairement au moyen d'un instrument nommé *sonomètre* ou *monocorde*, *fig.* 49. C'est une caisse de bois soutenant une corde à boyau ou une corde métallique qu'on peut tendre au moyen d'un poids placé à une des extrémités, ou diminuer de longueur, au moyen d'un chevalet C.

158. En examinant les phénomènes que présente cette corde lorsqu'on l'écarte de sa position naturelle, on reconnaît d'abord qu'elle exécute une série d'oscillations isochrones, c'est-à-dire d'une durée égale, quelle que soit leur amplitude, tant que la longueur et la tension de la corde demeurent les mêmes. Ensuite, en comptant le nombre des oscillations, on remarque que le premier son appréciable est produit par un corps faisant 32 vibrations par seconde : en augmentant successivement la tension de la corde, ou en diminuant sa longueur, on voit que le nombre des vibrations augmente dans la même proportion, et qu'alors les sons deviennent de plus en plus aigus ; mais il y a cela de remarquable qu'un nombre de vibrations double donne un son entièrement analogue, et présentant le plus parfait accord avec le premier : c'est ce qu'en musique on appelle l'*octave*. De plus, on obtient un nombre de vibrations double en partageant la corde en deux parties, ou la tendant par un poids quadruple. Nous supposons toujours la corde d'égal diamètre, car cette considération influe aussi sur le son, qui est d'autant plus grave que la corde est plus grosse ; ainsi on voit que si une corde d'une longueur et d'un diamètre déterminés, sous une certaine tension, produit un son que nous pourrons, d'après l'usage musical, appeler *ut*, la même corde, diminuée de moitié, fera un nombre double de vibrations, lesquelles donneront naissance à un son concordant qui sera l'octave supérieure. Si nous partageons de

même une des deux moitiés de la corde, il arrivera encore qu'un nombre de vibrations double de la seconde expérience, et quadruple de la première, sera produit, et, par suite, une seconde octave supérieure; il en sera toujours de même en continuant la division de la corde jusqu'à ce qu'on soit parvenu à la dernière limite des sons appréciables vers l'aigu, limite qui paraît fixée au point où le corps exécute plus de 8,000 vibrations par seconde. L'*ut* du violoncelle est le son produit par 128 vibrations par seconde, et on prend ordinairement, dans les expériences d'acoustique, et aussi en musique, pour point de départ, la double octave de ce ton, celui qui est produit par 512 vibrations, ou l'*ut* qu'on obtient sur le violon en mettant le troisième doigt sur la quatrième corde; mais dans les concerts, les instrumens s'accordent sur le *la*, qui est la cinquième note au-dessus de ce ton fondamental.

159. La vibration des corps présente encore cette coïncidence remarquable que, dans l'air, la longueur des ondes sonores suit la même progression que le nombre des vibrations, mais en sens inverse; en sorte qu'un nombre de vibrations double produit une onde sonore d'une longueur moitié moindre. Ainsi le premier son appréciable est le résultat de 32 vibrations par seconde, et la longueur de l'onde sonore est aussi de 32 pieds, mais à l'octave au-dessus, le nombre de vibrations est de 64, et la longueur de l'onde de 16 pieds, et ainsi de suite.

160. C'est sur les différens principes que nous venons d'exposer que repose la construction des divers instrumens, qu'on peut rapporter à deux sortes, ceux *à cordes* et ceux *à vent*. Dans les premiers, la longueur, la grosseur et la tension des cordes fournissent tous les sons : les uns, comme les pianos, sont à sons fixes; il y a au-

tant de cordes que de sons, et on les produit au moyen de touches qui viennent frapper les cordes. D'autres, comme les violons, les basses, n'ont qu'un très petit nombre de cordes, mais l'exécutant, en faisant varier à volonté la longueur des cordes avec le secours de ses doigts, en tire tous les sons compris dans l'étendue de l'instrument, ce qui ne dépasse guère quatre ou cinq octaves au plus, et pour les instrumens les plus privilégiés. Les caisses, les boîtes de diverses formes qui accompagnent tous ces instrumens, ne servent que pour renforcer les sons, et supporter les vrais corps sonores, qui sont les cordes. La force nécessaire pour leur soutien est très considérable; car on a calculé que la faible table d'un violon supporte une pression égale à un poids de 28 livres, et la caisse d'un piano à l'énorme poids de 6,000 livres; le peu de durée de ces derniers ne doit donc point étonner.

Dans les instrumens à vent, c'est l'air qui est le corps vibrant, et toutes les formes si variées, tant aux embouchures que dans la figure générale de l'instrument, sa longueur, son volume, ses diverses ouvertures, ne sont que des accessoires destinés à modifier la qualité du son ou à le rendre plus aigu ou plus grave, en imprimant à l'air des vibrations plus ou moins rapides. En général, les sons des instrumens à vent sont d'autant plus graves que le tuyau est plus long; ainsi, dans les orgues, les tuyaux ont la longueur même des ondes sonores : mais la forme des instrumens, en favorisant ou gênant certains mouvemens de l'air, modifie puissamment les sons. Dans les cors, les trompettes, etc., c'est l'action seule des lèvres qui détermine l'air du tuyau à exécuter le nombre de vibrations nécessaire pour produire tel ou tel son; dans les flûtes et autres instrumens de cette espèce, l'air est également mis en mouvement par les lè-

vres; mais des ouvertures pratiquées de distance en distance déterminent la production des différens sons; dans d'autres, il suffit de souffler et d'ouvrir ou fermer les trous pour obtenir le son. Dans les instrumens à anches, on complique les tuyaux d'un petit appareil vibratoire, au moyen duquel on parvient à faire prendre à l'air toutes sortes de vibrations. La voix humaine et celle d'un grand nombre d'animaux paraissent produites par un instrument à anches de la plus grande perfecfection. Mais nous ne pouvons entrer dans de plus grands détails sur ces matières. (1)

SECTION II.

TRANSMISSION ET PROPAGATION DU SON.

161. Le son se transmet et se propage aussi bien par le moyen de tous les autres corps que par le moyen de l'air, et on conçoit que dans tout milieu homogène, et qu'on pourrait considérer comme infini dans tous les sens, il formerait nécessairement une série d'ondes sonores succesives, circulaires autour du centre d'ébranlement, mais d'une vitesse qui pourra varier en raison de la nature du corps : c'est cette vitesse que nous allons maintenant étudier; mais observons d'abord que ce n'est guère que dans l'air qu'on peut espérer rencontrer de l'uniformité et de la précision dans les résultats, puisque tous les autres corps ont rarement une parfaite homogénéité, et surtout se présentent toujours à nous sous des formes très composées, et qui par conséquent doivent beau-

(1) Voyez l'*Acoustique* de Chaldni, et les ouvrages d'histoire naturelle et de physiologie, et spécialement celui de M. Magendie, ainsi que le *Traité de l'Organisation des animaux*, par M. de Blainville.

coup influer sur le mode de transmission comme sur la qualité des sons.

162. Pour concevoir parfaitement la manière dont le son se propage, il faut examiner ce qui doit arriver lorsqu'une cause quelconque imprime à un corps un ébranlement subit, par exemple, quelles modifications l'air subit dans une explosion, ou bien lorsqu'il est frappé d'un coup de fouet. On conçoit qu'un tel ébranlement peut être capable de faire vibrer l'air de manière à ce qu'il devienne sonore : en effet, les molécules de l'air où l'explosion a eu lieu seront subitement poussées avec une grande force, et tendront à se mouvoir; mais, rencontrant bientôt d'autres molécules résistantes, elles seront refoulées et commenceront un mouvement vibratoire autour de leur position primitive; mais il est évident qu'elles n'ont pu s'arrêter qu'en communiquant leur force d'ébranlement aux molécules voisines : celles-ci agiront donc de même, et le mouvement se propagera de la sorte successivement de proche en proche, ainsi que le son, qui en est la conséquence. Mais l'amplitude des vibrations, et par suite l'intensité du son, devront aller continuellement en décroissant, puisque le partage des forces augmente continuellement en s'éloignant du centre d'ébranlement, dès que nous supposons le milieu où le mouvement se propage d'une étendue indéfinie en tout sens : c'est en effet ce que le calcul démontre, et ce dont il donne la mesure; le son doit donc s'éteindre après avoir parcouru un espace plus ou moins grand, en raison de sa force.

163. On conçoit également très bien que l'air doit éprouver des ébranlemens très différens, en raison des forces infiniment variées qui viennent l'agiter par leurs commotions subites ou répétées. Il ne peut entrer en vibration de la même manière sous l'influence de ces causes diverses, et tantôt,

chassé avec une rapidité extrême, il oscillera avec une vitesse proportionnelle, et produira un son aigu; tantôt, poussé avec peu de violence, ses vibrations seront lentes et le son grave; enfin des chocs intermédiaires produiront tous les sons mitoyens entre ces extrêmes. Nous avons supposé le cas d'une explosion pour simplifier le phénomène; mais il est facile de sentir que les sons prolongés ne sont autre chose qu'une explosion continuée, qu'un centre d'ébranlement dont l'action dure plus ou moins long-temps.

164. Nous venons de dire que dans un milieu d'une grande étendue, comme l'air, le son décroît d'intensité à mesure que les ondes sonores s'éloignent du centre d'ébranlement; mais il n'en est plus ainsi lorsque la colonne mise en mouvement est d'une étendue limitée et cylindrique : la file des molécules étant toujours égale en nombre, doit transmettre le son avec une égale intensité, sauf la perte légère causée par le frottement et la communication du mouvement aux parois du cylindre : tout ceci a été confirmé d'une manière expérimentale par M. Biot, qui, séparé par une étendue de tuyaux de plus de 950 mètres, entretenait sans peine une conversation à voix basse. L'effet considérable du porte-voix, qui dirige le son d'un certain côté, est dû à une cause analogue. Dans la même série d'expériences, ce savant reconnut que tous les sons se propageaient avec une vitesse égale, bien que le nombre de vibrations exécutées dans un temps déterminé soit très variable. On devait au reste s'attendre à ce résultat; car l'air peut bien venir frapper l'oreille d'un plus grand nombre d'oscillations dans une seconde de temps, mais l'intervalle nécessaire pour propager ce mouvement est le même, parce que les vibrations embrassent une étendue d'autant plus petite qu'elles sont plus rapides, ce qui établit

une compensation exacte. C'est encore par des expériences semblables qu'il a été constaté que le son se propage généralement avec d'autant plus de vitesse, que le corps qui le transmet est plus dense et plus élastique; ainsi, dans les tuyaux dont nous venons de parler, M. Biot entendait distinctement deux sons produits par le choc d'un marteau; un premier transmis très rapidement par le tuyau, un second transmis ensuite par la colonne d'air. Il paraît qu'on a reconnu la même loi dans les liquides et les fluides gazeux.

165. On a répété très souvent diverses expériences pour déterminer exactement la vitesse du son dans l'air; le meilleur moyen pour parvenir à ce but est de comparer l'intervalle du temps qui s'écoule entre l'apparition de la lumière d'un coup de canon et son explosion; on a trouvé par là que le son se transmettait dans l'air à l'état ordinaire avec une vitesse d'environ 337 mètres par seconde. Le calcul donnait un résultat bien inférieur; mais M. de Laplace a démontré que cette erreur provenait de ce qu'on négligeait de tenir compte du changement de température produit dans l'air par sa condensation et sa dilatation dans le mouvement vibratoire. En effet, en faisant entrer cet élément dans ses calculs, il a établi entre la théorie et l'expérience un accord admirable. La température, en augmentant ou diminuant l'élasticité et la densité de l'air, doit en effet influer sur la vitesse de propagation du mouvement et du son. (1)

---

(1) Une série nombreuse d'expériences faites avec beaucoup de soin, aux Indes dans les environs de Madras, par M. Goldingham, a donné pour vitesse moyenne du son, pendant l'année, 344 m. 41 par seconde.

166. Le vent, dans certaines circonstances, influe aussi sur la transmission du son. Si l'air se meut par cette cause dans le même sens que le son, il s'ajoute à sa vitesse propre; en sens contraire, il s'en retranche; dans un plan perpendiculaire à la marche du son, il n'y opère aucun changement.

167. Les vibrations productrices du son peuvent se comparer aux ondulations qui agitent la surface des liquides, et en général à tous les mouvemens infiniment petits; c'est pourquoi on ne doit pas s'étonner de ce que plusieurs sons peuvent se propager en même temps dans des directions différentes sans se nuire ni se détruire. (1)

168. Le son, dans un milieu dont la nature et la densité ne varient pas, se propage d'une manière uniforme et en ligne droite; mais vient-il à rencontrer un obstacle, souvent il lui communique son mouvement vibratoire et le rend sonore; souvent aussi il se réfléchit à sa surface, en faisant l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence, et il continue à se propager dans cette nouvelle direction avec la même vitesse. Telle est l'origine des phénomènes de la résonnance des corps, lorsque la réflexion ne transmet qu'un bruit confus de l'écho, lorsque le son réfléchi est distinct : on conçoit que l'écho dépend entièrement de la configuration des lieux où le son est réfléchi, ainsi que de la nature et de l'élasticité du corps réfléchissant. Il est tantôt simple, tantôt double ou multiple. Il en est qui répètent les sons jusqu'à 40 fois. La géométrie fournit et explique

---

(1) *Voyez* les Mémoires de M. A. L. Cauchy, sur la propagation des ondes, et ceux de M. Poisson, sur le son. (Mémoires de l'Académie des Sciences et de la Société philomatique.)

tous ces résultats d'après le mode de réflexion du son, et en déduit les meilleures formes à donner aux salles de concert et de déclamation.

SECTION III.

DE LA COMPARAISON DES SONS.

169. Nous avons vu que les sons aigus ou graves dépendent de la vitesse des vibrations, et celles-ci de la longueur, de la tension et du diamètre des cordes; nous ne nous sommes occupés que des vibrations dans le sens transversal, comme les plus importantes, puisqu'elles s'observent avec plus de facilité et de régularité, et s'appliquent à une foule d'instrumens; mais ce ne sont pas les seules. Les cordes vibrent aussi dans le sens longitudinal et dans leur pourtour : enfin, non seulement les verges droites, mais aussi les verges courbes, exécutent des vibrations, et par suite produisent des sons. On conçoit qu'il est bien difficile de trouver de la régularité dans des sons produits de la sorte, et en effet ils présentent des variations sans fin; mais on remarque en général qu'ils sont plus aigus que ceux produits dans le sens ordinaire. C'est à M. Chladni qu'on doit surtout un grand nombre de recherches à ce sujet; on peut en voir le détail dans son Acoustique. MM. Biot et Savart s'en sont aussi beaucoup occupés. (1)

170. Nous avons vu également que la division

(1) *Voyez* leurs ouvrages particuliers et l'analyse de leurs travaux dans les *Annales de Physique et de Chimie;* les premiers cahiers de 1824, principalement, contiennent un exposé très important des travaux de M. Savart.

de l'échelle musicale en octaves est très naturelle, puisqu'elle est fondée sur des rapports doubles dans le nombre des vibrations; les autres sons consonnans, qu'on peut regarder comme fondamentaux, sont de même liés par des rapports simples avec le nombre des vibrations; de sorte qu'il existe entre eux tous une concordance dont l'oreille a su apprécier l'accord et l'agrément. Mais le musicien, dans la composition de la gamme, a intercallé d'autres tons entre ceux-là, et de plus, en a partagé tous les intervalles en deux sons au moyen des *dièzes* et des *bémols;* c'est ce qu'il appelle des *demi-tons*. Sa gamme est composée de sept notes principales, dont il fait connaître la valeur, le son, la durée, au moyen des clefs, des lignes et de différens accessoires.

171. En cherchant sur le sonomètre les dièzes et les bémols on trouve qu'il ne faut pas un nombre égal de vibrations pour élever ou pour abaisser une note d'un demi-ton, par conséquent que le son n'est pas précisément le même; aussi, dans les instrumens libres, comme le violon, les basses, l'exécutant se soumet involontairement, par le sentiment de la mélodie, à ces différences; mais dans ceux à sons fixes, comme le piano, la harpe, la plupart des instrumens à vent, on a adopté ce qu'on appelle un *tempérament*, c'est-à-dire un terme moyen, afin de faire avec le même son le dièze d'une note et le bémol de celle immédiatement supérieure.

172. Les cordes ne vibrent pas toujours dans toute leur longueur, et toujours, tout en vibrant dans toute leur étendue, elles exécutent aussi des vibrations partielles, qui semblent avoir des centres particuliers d'ébranlement nommés *ventres*, et des points de séparation en repos nommés *nœuds;* c'est ce qu'on fait voir par une expérience très élégante. On place à des distances connues, à che-

val sur la corde, de petits morceaux de papier de deux couleurs, et dès qu'on met la corde en vibration, on voit sauter à terre tous ceux d'une couleur qui étaient placés sur les ventres, tandis que ceux de l'autre couleur placés sur les nœuds restent stationnaires. Ces vibrations partielles ne peuvent s'exécuter sans produire des sons; c'est aussi ce qu'on reconnaît avec un peu d'attention; une oreille exercée en apprécie même jusqu'à six ou sept; mais ils vont continuellement en s'affaiblissant. Ils présentent cette particularité remarquable qu'ils sont toujours le produit d'une subdivision de la corde en un nombre entier de parties, et lui sont correspondans : ils sont aussi du nombre de ceux que l'oreille a le plus de plaisir à entendre, et c'est pour ce motif qu'on les appelle *harmoniques*.

173. La production des sons harmoniques a lieu très fréquemment; non seulement une corde isolée, saisie d'une certaine manière, aidée surtout par l'application du doigt à l'endroit d'un nœud, se divise en plusieurs parties vibrantes, mais encore, dans presque tous les instrumens, chaque corde, tout en donnant le son principal, produit aussi naturellement les harmoniques, mais avec moins d'intensité que lorsqu'on l'y excite, si l'on peut s'exprimer ainsi : de plus, la vibration d'une corde détermine toutes ses voisines, et même les autres corps à vibrer de manière à former la série des sons harmoniques : enfin on a reconnu que l'air jouissait de la même propriété de former dans les ondes sonores des nœuds de vibration, et par suite des harmoniques.

174. Une propriété des vibrations qui mérite encore d'être remarquée, mais qui n'est qu'une conséquence de la nature des mouvemens ondulatoires, c'est que la coïncidence de deux vibrations peut donner la sensation d'un son qui n'est

réellement pas produit; ce phénomène est connu sous le nom d'expérience de Tartini. Son explication est facile; en effet, nous savons que toutes les fois que notre oreille reçoit l'impression de battemens répétés, elle nous transmet la sensation d'un son, et détermine la nature de ce son d'après le nombre des battemens. Si deux sons produits en même temps sont, par exemple, dans le rapport de deux à trois par le nombre de vibrations qu'ils exécutent dans le même temps, il est évident qu'il y aura des instans où ils frapperont notre organe simultanément : il sera donc affecté comme il l'eût été par un son plus grave directement produit selon le rapport de la coïncidence. Nous verrons par la suite la lumière présenter des phénomènes entièrement analogues, et la sensation de la clarté ou de l'obscurité dépendre de la coïncidence ou de la discordance des rayons. Une foule d'autres rapports avec les sons, qu'on a reconnus récemment être soumis à la réfraction, à la double réfraction et à la polarisation, nous indiquera que la lumière, comme le son, est le résultat d'un mouvement vibratoire.

LIVRE TROISIÈME.

DES FLUIDES IMPONDÉRABLES.

175. Les fluides impondérables forment une classe de corps et d'agens tout-à-fait à part, mais qui, à raison des phénomènes importans dont ils sont la cause et la source, méritent la plus sérieuse attention. C'est spécialement sur eux que roulent les expériences, les observations, les travaux, les recherches, les méditations des physiciens modernes les plus savans; aussi leur connaissance fait-elle de jour en jour de nouveaux progrès, et touchons-nous sans doute au moment où la nature de ces corps nous sera révélée d'une manière certaine, et conduira immanquablement à l'explication d'un très grand nombre de difficultés qu'on rencontre encore dans plusieurs parties des sciences physiques et naturelles.

Jusqu'ici nous avons reconnu dans les corps qui ont été l'objet de notre étude, diverses propriétés générales et particulières qu'il nous a été permis d'apprécier d'une manière rigoureuse, puisque nous avons pu les soumettre à l'épreuve de plusieurs méthodes de mesure, de différens moyens d'analyse. Ceux qui vont nous occuper maintenant ne pourront point être saisis de la même manière; invisibles, impalpables, semblables en cela à la cause inconnue de l'attraction, on pourrait même ne les considérer que comme des propriétés, des modifications de la matière, et douter de leur existence, puisqu'elle ne se mani-

feste à nous que par des effets, des mouvemens qui sont produits dans certaines circonstances. Nous verrons cependant que si cette opinion ne peut directement être démontrée fausse, ne peut entièrement être taxée d'absurde, celle qui admet l'existence de fluides particuliers explique les phénomènes d'une manière plus probable et plus satisfaisante aux yeux de la raison.

176. Dès que nous admettons l'existence de ces fluides, il est évident que nous devons leur reconnaître les propriétés essentielles des corps, c'est-à-dire la matérialité, l'étendue, l'impénétrabilité; mais nous ne dissimulerons pas que tous nos moyens d'investigation sont impuissans pour découvrir en eux ces propriétés. Ce sont des corps qu'on ne peut comparer à aucun de ceux que nous venons d'étudier, mais dont l'existence matérielle paraît cependant démontrée par leur pouvoir immense, par leur influence, leur action nécessaire dans une multitude de phénomènes naturels. On suppose donc que ces fluides sont éminemment élastiques, composés de molécules d'une ténuité et d'une subtilité pour ainsi dire infinie; qu'en conséquence ils ne peuvent opposer aucune résistance appréciable à la marche des corps célestes; et, au contraire, peuvent pénétrer la plupart des corps avec la plus grande facilité. De là ces fluides ont été nommés *incoercibles*, *discrets*, *éthérés*; enfin on les a souvent appelés *impondérables*, parce qu'on n'a pas encore pu les peser. Leur analogie avec les autres corps n'est qu'éloignée; aussi ne doit-on point, dans leur étude, suivre la même marche; aussi doivent-ils former une section distincte de la physique, dont ils sont une des branches les plus importantes et les plus difficiles.

177. L'étude des fluides impondérables comprend celle des nombreux phénomènes de la lumière, de la chaleur, de l'électricité et du magné-

tisme; car l'observation nous fait promptement reconnaître que les corps qui nous environnent, que nous pouvons voir et toucher, ne sont point lumineux et chauds, ne sont point doués de propriétés électriques et magnétiques par eux-mêmes et dans toutes circonstances, mais manifestent ces phénomènes sous l'influence de divers agens, de différentes forces motrices. L'expérience nous apprend également que la chaleur et la lumière se propagent à de grandes distances du foyer qui les produit; que ce n'est pas seulement au milieu des corps solides, liquides ou gazeux que cette transmission a lieu, mais aussi dans le vide le plus parfait, dans les régions de l'espace où il est impossible d'admettre aucun autre corps qu'un fluide éthéré; d'où il résulte que les phénomènes de la chaleur et de la lumière ne peuvent être communiqués par les corps que nous avons étudiés jusqu'à présent, et supposent l'existence d'un corps particulier que nous ne pouvons voir ni palper, mais que nous pouvons apprécier par ses effets. De même l'électricité et le magnétisme présentent une foule de phénomènes qu'il est impossible de ramener aux lois connues des autres corps, et qu'on ne saurait expliquer sans l'existence d'un fluide capable de manifester la force la plus énergique là où, un instant auparavant, et sans aucune cause apparente de changement, tout était dans le repos le plus absolu.

178. Les résultats que nous venons d'indiquer démontrent évidemment l'existence de corps très différens de tous les autres, éminemment subtils et élastiques; c'est ce que reconnaissent généralement les physiciens. Mais comment agissent ces fluides, comment transmettent-ils le mouvement imprimé par la force motrice? Doit-on admettre un seul susceptible de diverses modifiations, ou plusieurs de ces fluides pour rendre raison des

phénomènes ? Telles sont les questions sur lesquelles les physiciens sont loin d'être d'accord. La transmission de la chaleur, de la lumière, de l'électricité, du magnétisme, et par suite tous les effets qui en sont une dépendance, sont-ils produits par une véritable émission de particules de la part du corps chaud, lumineux, électrique ou magnétique, ou bien sont-ils le résultat de différens mouvemens vibratoires imprimés par ces corps à un fluide universellement répandu ? Tels sont les deux systèmes qui partagent maintenant les physiciens ; chacun d'eux est appuyé des noms les plus recommandables, chacun d'eux est fécond en applications, et satisfait assez bien à l'explication des phénomènes. Donnons une idée de la manière de voir qu'on adopte dans l'un et dans l'autre ; et, dans la nécessité d'opter pour l'un des deux, notre choix sera promptement déterminé en faveur de celui qui offre le plus de simplicité dans les applications, qui donne l'explication des phénomènes avec plus de fécondité, et contre lequel on n'a produit aucune objection sans réponse.

179. Dans l'hypothèse des émanations, développé d'abord par Newton relativement à la lumière, on suppose que la source de lumière ou de chaleur envoie une multitude de rayons composés de particules extrêmement ténues, douées d'une grande vitesse, et possédant les propriétés lumineuses ou calorifiques du foyer d'où elles émanent. Elles sont continuellement lancées dans toutes les directions, et se propagent en ligne droite jusqu'à ce qu'elles rencontrent quelque corps ; car alors tantôt elles se réfléchissent à sa surface comme des billes, tantôt elles sont infléchies à son approche, tantôt elles pénètrent dans son intérieur en se réfractant, c'est-à-dire en se déviant de leur route primitive. Maintenant, dans cette hypothèse, on ne sépare plus la chaleur et la lumière, qu'on

regarde comme des modifications d'un même principe; c'est ce qui est, en effet, suffisamment prouvé par une foule d'analogies et de rapports. On y regarde le calorique, tantôt comme combiné en plus ou moins grande quantité avec les corps, tantôt s'en dégageant par diverses causes, et passant dans les autres corps de diverses manières. Lorsque ce dégagement est très considérable, lorsque les molécules émises ont subi certaines modifications, elles deviennent lumineuses. Dans le même système, on explique d'une manière analogue les phénomènes de l'électricité et du magnétisme, au moyen d'un seul ou de deux fluides. Il y a peu d'années, on en supposait même quatre pour l'explication de ces deux sortes d'effets; mais les expériences toutes récentes de MM. Oersted, Ampère, Arago, et beaucoup d'autres physiciens, ont démontré leur identité, et ne permettent plus d'admettre des fluides électriques et des fluides magnétiques. On rend raison de tous les phénomènes de cet ordre par la rupture et le rétablissement de l'équilibre de ces fluides dans les corps. D'après l'opinion de Franklin, on n'en admet qu'un seul, qui tend toujours à l'équilibre dans les corps, et produit divers effets lorsqu'il y est *en plus* ou *en moins*. Dufay, puis Symmer, en imaginèrent, et la plupart des physiciens français en reconnaissent deux qui ont une grande tendance à se combiner pour être en équilibre, mais qui se séparent de plusieurs manières, et alors donnent lieu à divers phénomènes.

180. L'hypothèse des ondulations ou des vibrations a été imaginée par Descartes, et perfectionnée par Huyghens et Euler. Elle était presque entièrement abandonnée, lorsqu'elle fut ressuscitée de nos jours par les travaux de MM. Th. Young, Arago et Fresnel, qui, principalement pour la lumière, lui ont donné le plus haut degré de probabilité,

par la facilité avec laquelle ils s'en sont servis pour expliquer tous les phénomènes. Dans ce système, il suffit de supposer un seul fluide impondérable pour l'explication de tous les phénomènes de la lumière, de la chaleur, de l'électricité et du magnétisme. Ce fluide est universellement répandu, et dans l'état de repos il ne manifeste point sa présence; mais vient-il à être mis en mouvement de façon à exécuter des vibrations de divers genres, il devient susceptible de produire différens effets, et il les propage en communiquant ses mouvemens aux particules environnantes du même fluide. On considère alors un corps chaud ou lumineux comme un centre de vibrations de divers ordres, tout-à-fait semblable à un corps sonore; et la transmission de la lumière et de la chaleur, comme une propagation de ces mouvemens au moyen de l'éther universellement répandu, de même que nous avons vu le son se propager par l'intermède de l'air et des autres corps. De plus, on peut supposer que cet éther varie de situation et d'intensité, n'est pas toujours en équilibre dans les corps, et par là rendre raison de tous les phénomènes de l'électricité et du magnétisme comme dans le système de Franklin. On peut aussi supposer que cet éther, qui a dejà servi à expliquer la lumière et la chaleur, est composé de deux fluides dont la combinaison entraîne l'état de repos, mais dont l'isolement, la séparation, produisent différens phénomènes de mouvement, d'attraction et de répulsion. On rentre alors tout-à-fait dans la théorie électrique de Symmer.

181. Tels sont les deux systèmes sur le mode d'action des fluides impondérables, systèmes qui ont chacun leurs partisans et leurs défenseurs parmi les physiciens modernes. Le premier, celui de l'émission, jusqu'à ces derniers temps était le plus universellement adopté, et paraissait l'em-

porter entièrement ; il rendait compte des phénomènes observés d'une manière assez satisfaisante; il était d'ailleurs le seul enseigné dans les cours et dans les ouvrages élémentaires, de sorte qu'il était le seul connu des étudians et des personnes qui avaient peu approfondi l'étude de la science. Le second, celui des vibrations, a été rappelé à l'attention des savans par les découvertes des physiciens actuels, qui l'ont rendu maintenant le plus probable et le plus simple. Cette hypothèse seule embrasse les phénomènes dans toute leur généralité, les calcule, les prévoit; elle seule surtout peut expliquer cet effet singulier d'une double lumière produisant l'obscurité, effet qui est une conséquence de la théorie des vibrations, et qu'on ne sait comment expliquer dans celle des émanations. Enfin, si la théorie chimique de la combinaison du calorique avec les corps est nécessairement modifiée dans ce système, puisque ce n'est plus l'accumulation, mais seulement les mouvemens du fluide qui produisent les phénomènes de la chaleur, est-ce une raison pour rejeter une hypothèse qui seule explique tous les phénomènes lumineux, surtout après les objections puissantes élevées contre le calorique combiné par les expériences de MM. Dulong et Petit? Devons-nous rejeter son application au calorique, lorsque par un autre moyen elle explique les mêmes effets, lorsque surtout un lien indissoluble réunit les phénomènes de la lumière et de la chaleur, lorsque nous les voyons, pour ainsi dire, se transformer les uns dans les autres, enfin lorsque cette hypothèse résout toutes les difficultés de la théorie de la lumière?

182. Tous les auteurs qui ont traité la physique dans des ouvrages élémentaires ont adopté le système des émanations, comme matérialisant davantage les phénomènes et en rendant l'expli-

cation plus facile; mais plusieurs ont avoué que ce n'était pas parce qu'ils le regardaient comme plus probable; au contraire, l'un d'eux, après avoir comparé, comme nous venons de le faire, d'une manière générale les deux systèmes, avoue que certains phénomènes lumineux sont tout-à-fait inexplicables dans le système des émanations. La manière de rendre compte des phénomènes dans le système des vibrations, et ce système lui-même ne peut donc être connu de la classe de lecteurs à qui nous nous adressons, et c'est pour remplir cette lacune dans leur instruction, c'est pour les mettre à même de juger les deux opinions que nous avons tenté, dans cet essai sur les fluides impondérables, d'exposer tous les phénomènes qu'ils présentent en les rapportant à cette hypothèse. Il ne nous appartient pas de trancher la question avant nos guides et nos maîtres, et d'annoncer l'opinion que nous adoptons comme la seule fondée. Mais il nous est permis de suivre les pas de MM. Arago et Fresnel, il nous est permis d'exposer leurs découvertes. D'ailleurs n'aurons-nous pas, dans tous les cas, rendu un service utile, en popularisant, pour ainsi dire, un système qui n'est exposé nulle part d'une manière élémentaire et complète, dont on ne peut prendre connaissance qu'en étudiant un grand nombre de mémoires et d'ouvrages détachés? Nous compléterons l'exposé des découvertes nouvelles, et montrerons la science telle qu'elle est réellement maintenant, en traitant simultanément de l'électricité et du magnétisme, dont l'identité est universellement reconnue, mais qui cependant n'ont point encore été envisagés sous ce point de vue d'une manière complète.

Notre plan est d'exposer en peu de pages la généralité des phénomènes de tout genre que présentent les fluides impondérables, ainsi que nous

l'avons fait dans l'étude des autres corps; c'est assez dire qu'il nous sera impossible de donner le détail des expériences et des calculs qui ont servi de fondemens à la théorie, mais nous prenons l'engagement de ne rien avancer de ce qui peut être raisonnablement contesté.

D'après cette manière de voir, nous partagerons l'étude des fluides impondérables en trois parties. Dans la première, nous exposerons les phénomènes de la chaleur; si elle est produite par l'action du même fluide que la lumière; si elle l'accompagne bien souvent et se montre identique avec elle; ses effets sur les corps sont d'un autre ordre, et assez importans pour motiver cette séparation. En effet, dans l'étude du calorique, nous envisagerons plutôt les modifications qu'il imprime aux corps que sa manière d'agir. Dans la seconde partie, nous passerons successivement en revue tous les phénomènes de la lumière directe, infléchie, réfléchie, réfractée, polarisée; nous suivrons donc le fluide lumineux dans sa marche, dans les modifications qu'il éprouve; c'est lui qui fixera principalement notre attention, c'est là que se placera naturellement le développement de la théorie. Enfin, dans la troisième partie, nous chercherons à faire comprendre comment d'une même source découlent tous ces phénomènes si compliqués et si différens, qu'on désignait autrefois sous les noms d'*électriques*, *galvaniques* et *magnétiques*, et qu'on réunit maintenant sous le nom d'*électro-magnétiques*.

CHAPITRE PREMIER.

DU CALORIQUE.

183. Nous venons de voir qu'on peut donner l'explication de tous les phénomènes de la chaleur au moyen de deux hypothèses différentes. Dans l'une, on suppose un fluide universellement répandu dans les corps, et qui donne lieu à la production des divers effets qu'on attribue au calorique, lorsqu'il exécute certains mouvemens; dans l'autre, on suppose également l'existence d'un fluide, mais qui, dans certaines circonstances, sous l'influence de certaines causes, abandonne les corps ou s'y accumule, et produit alors les phénomènes du froid et de la chaleur. Ce fluide tend toujours à se mettre en équilibre. Ces deux systèmes rendaient également raison des phénomènes de la production et de la propagation de la chaleur d'une manière satisfaisante, jusqu'à ces derniers temps, où des expériences de MM. Dulong et Petit tendent à établir leur analogie avec certains phénomènes galvaniques ou électriques. Le système de l'émission semblait même peut-être se prêter aux explications avec plus de simplicité, et comme tel il aurait mérité la préférence, si l'identité de la lumière et du calorique, démontrée par tant de phénomènes, n'avait soutenu celui des ondulations. Une troisième opinion partageait autrefois les savans sur la cause de la chaleur. On a pensé qu'elle pouvait être produite par un mouvement intestin et vibratoire des molécules des corps; mais ce système, qui paraît combattu par

des observations directes, est maintenant généralement abandonné. Ce n'est plus qu'en Allemagne qu'il peut encore compter quelques partisans.

Quoi qu'il en soit, nous ne nous arrêterons pas davantage sur ces idées théoriques, qui n'entraînent que de bien légères différences dans l'explication des phénomènes, et nous nous bornerons désormais à l'étude de ceux-ci, abstraction faite de la cause qui les produit.

184. Déjà nous avons dû donner quelques notions générales sur les effets du calorique; nous avons vu qu'en contrebalançant le pouvoir de l'affinité et de l'attraction, il maintenait tous les corps dans l'état habituel où nous les voyons; mais que lorsqu'il devient surabondant, il nécessite tous les changemens d'état que l'on remarque dans les corps, et les fait successivement passer de l'état solide à l'état liquide et de l'état liquide à l'état gazeux, de même qu'en diminuant d'intensité, il les ramène à la liquidité et à la solidité. Il offre aussi cet effet général dans les intervalles qui sépare les divers changemens d'état des corps, de les dilater par son accumulation, c'est-à-dire d'éloigner leurs molécules, et de les contracter par sa diminution, c'est-à-dire de rapprocher leurs molécules, phénomènes qu'on doit considérer comme faisant le passage d'un changement d'état à l'autre. Déjà nous avons étudié les lois de cette dilatation et de cette contraction dans les corps solides, liquides et gazeux, et nous avons vu qu'elles ont servi à l'invention de plusieurs instrumens propres à mesurer l'intensité de la chaleur et les variations de température, tels que les pyromètres, les thermomètres à liquides et à gaz; nous avons fait connaître ces instrumens, leur construction et leurs applications diverses. Il serait inutile de revenir maintenant sur ce genre d'action de la part du calorique, et de rappeler de nouveau l'attention sur

les changemens d'état et de dimension des corps : nous avons donné ces notions dans les chapitres qui traitent des propriétés particulières de chacun des états qu'affectent les corps, parce qu'elles nous ont semblé y être plus à leur place, et nous y renvoyons le lecteur.

185. Ce qu'il nous reste à dire du calorique sera partagé en trois sections; nous ferons d'abord connaître les lois et les circonstances de la formation et du développement de la chaleur, et nous indiquerons ses principales sources; nous étudierons ensuite la manière dont elle se propage dans les différens corps, soit à distance par rayonnement, soit par le contact; enfin, en traitant de la capacité des corps pour le calorique, nous ferons connaître ce qu'on entend par *calorique latent* ou *spécifique*, et nous indiquerons les principales méthodes à l'aide desquelles on mesure cette portion de calorique insensible à nos organes, insensible au thermomètre, qu'on regarde généralement comme combinée avec les corps.

SECTION PREMIÈRE.

DE LA PRODUCTION ET DU DÉVELOPPEMENT DE LA CHALEUR.

186. La principale source de chaleur à la surface de notre globe paraît être le soleil : qu'il nous envoie ou nous transmette réellement des rayons calorifiques, ou que ces rayons ne prennent ces propriétés qu'en traversant les couches atmosphériques, ainsi que l'ont pensé plusieurs savans, et ainsi que semblerait peut-être l'indiquer au premier coup d'œil la diminution de chaleur très considérable qu'on ressent à mesure qu'on s'élève dans les régions supérieures de l'air, le soleil est du moins la cause apparente qui entretient la tem-

pérature ordinaire des différens lieux de la surface de la terre; ainsi, de quelque manière qu'il agisse sur les corps, que ce soit directement ou indirectement, on ne peut douter qu'il ne soit la cause réelle des différens états sous lesquels ils se présentent ordinairement à nous, puisque nous voyons ces corps changer d'état, c'est-à-dire de liquides ou gazeux devenir solides, ou bien au contraire de solides ou liquides devenir gazeux, puisque nous voyons leur température suivre exactement la marche du soleil, être d'autant plus considérable qu'il reste plus long-temps au-dessus de l'horizon, et que ses rayons sont reçus plus perpendiculairement, en un mot, être d'autant moindre qu'on s'éloigne de l'équateur et qu'on s'approche des pôles.

187. Les lois de la distribution de la chaleur, selon les climats et les saisons, les variations nombreuses de la température, la chaleur particulière du globe, qu'on désigne sous le nom de *chaleur centrale*, qui est appuyée et combattue par des noms imposans, qui paraît même soutenue par des observations directes, présentent une foule de questions très curieuses et de la plus haute importance : nous regrettons vivement de ne pouvoir nous livrer à leur examen; mais ce serait nous écarter de l'objet spécial de notre étude; ces questions appartiennent à l'histoire naturelle de la terre, à la géographie physique et à la météorologie; nous nous bornerons à indiquer également en peu de mots les autres sources de chaleur.

188. Une des causes qui développe le calorique avec plus d'intensité, on peut même dire de violence, c'est le feu; on embrasse sous cette dénomination, tantôt l'universalité des phénomènes de la chaleur, dont il devient alors à peu près synonyme, tantôt seulement ceux de la combustion, qui n'est elle-même qu'une combinaison, de même

que toute combinaison n'est qu'une combustion, ce qui est fort bien exprimé dans le langage chimique, où tout corps combiné s'appelle souvent corps brûlé : on se ferait une bien fausse idée de la combustion et du feu, si on les regardait comme des causes de destruction et d'anéantissement; car elles sont en même temps des causes de production : la combustion n'est donc réellement autre chose qu'un changement de combinaison des corps. L'opinion généralement adoptée par les chimistes, sur ce qui se passe dans toute combustion ou toute combinaison, est que chaque composé admet dans sa composition une quantité différente de calorique, et dans tous les cas les liquides en admettent plus que les solides, et les gaz plus que les liquides; en conséquence, par exemple, toutes les fois que dans une combinaison un corps passe de l'état gazeux à un état où il renferme moins de calorique, et c'est ce qui a lieu dans la plupart des combustions que nous avons occasion d'observer le plus fréquemment, à cause de la combinaison de l'oxigène de l'air; selon cette manière de voir, il doit se faire un grand dégagement de calorique; par là on explique tous les phénomènes du feu, et les productions de chaleur ou de froid qu'on remarque dans les combinaisons; car on conçoit, d'après cette explication, que, dans certaines circonstances, il devra y avoir du calorique absorbé plutôt que mis en liberté, et alors, par une telle combinaison, il y aura production de froid au lieu de chaleur. La théorie de la combustion appartient à la chimie; mais les idées généralement répandues sur le feu sont trop fausses pour que nous n'ayons pas dû nous efforcer de les rectifier en les présentant sous leur véritable point de vue. Au reste, nous devons dire qu'un beau travail de MM. Dulong et Petit sur le calorique combiné, les a conduits à penser que l'opinion sur le dégagement du calorique dans

l'action de la combustion, pourrait bien être erronée, et que ce dégagement est plutôt analogue à l'ignition sans combinaison, à laquelle M. Davy a soumis le charbon par une action électrique particulière. Cette manière d'envisager les phénomènes mérite de la part des savans la plus sérieuse attention, puisqu'elle peut changer toute la théorie chimique, et servir à résoudre la question de la nature de la chaleur.

189. Quoi qu'il en soit, il est inutile d'insister sur les nombreuses applications de la chaleur et de la combustion dans les arts économiques et industriels. Si la haute température qu'on obtient par la combustion de diverses substances, telles que le bois, le charbon, les huiles, les gaz inflammables, sont peu de chose dans les sociétés humaines, le feu est un des agens les plus puissans dont on puisse faire usage. Aussi est-il d'un emploi universel, non seulement dans nos chambres, où l'on n'a pour but que de profiter de la chaleur qu'il produit, non seulement dans les arts chimiques, où il favorise les combinaisons, et dans nos cuisines, où l'on opère de véritables changemens chimiques, mais encore dans la plupart des arts industriels, où l'on a besoin d'une force motrice considérable, ou bien dans lesquels il est nécessaire de faire subir aux corps des modifications dans certaines de leurs propriétés physiques, telles que la dureté, la solidité, la ductilité, la fusibilité, etc., etc.

190. Plusieurs des êtres animés qui nous entourent, et nous-mêmes, sous la température ordinaire qui règne à la surface de la terre, sommes aussi des sources de chaleur, c'est-à-dire que la température particulière de notre corps est en général plus élevée que celle des corps ambians, et par conséquent nous les échauffons perpétuellement à nos dépens; il paraît qu'on peut en géné-

ral attribuer cette chaleur animale à l'effet des nombreuses combinaisons qui s'exécutent dans les corps vivans, notamment dans l'acte de la respiration; c'est un des plus beaux sujets de recherches qu'on puisse se proposer, mais il demande le secours de la physique, de la chimie et de la physiologie.

191. Il existe aussi des causes de développement du calorique tout-à-fait mécaniques; ainsi, en frottant avec vivacité deux corps l'un contre l'autre, on les voit bientôt s'enflammer; en comprimant fortement un corps, soit par un choc violent et instantané, comme lorsqu'on frappe un caillou avec un corps très dur, soit par une compression subite, comme lorsqu'on refoule l'air dans le briquet pneumatique, on produit également l'ignition. D'après la manière ordinaire d'envisager le calorique, on conçoit que, dans ces phénomènes, les molécules des corps étant subitement rapprochées ou modifiées de façon à ne plus pouvoir contenir le calorique qui était interposé entre elles, celui-ci est mis en liberté, et se précipite sur les corps qu'il rencontre; si la quantité de chaleur développée de la sorte est assez considérable, les corps pourront entrer en ignition. Sans vouloir combattre cette opinion, nous ferons remarquer que les mêmes moyens mécaniques qui développent de la chaleur dans un grand nombre de circonstances développent aussi de l'électricité.

192. Enfin, les phénomènes électriques nous offrent plusieurs circonstances où la chaleur est développée avec beaucoup d'intensité et d'énergie; on ne connaît même aucun feu qu'on puisse comparer à la foudre pour la puissance. Nous en imitons les effets au moyen des décharges de nos batteries électriques et des courans de nos piles galvaniques. On attribuait en général ces phénomènes à la même cause que la chaleur développée

par compression; mais ces explications paraîtront devoir subir de grandes modifications, d'après les idées nouvelles de quelques savans sur la liaison de l'électricité et du calorique; ce n'est point dans un ouvrage aussi élémentaire que celui-ci, qu'il est possible de discuter ces opinions; l'exposé de la science est déjà une tâche assez vaste à remplir; mais ce sont de nouvelles preuves de l'analogie encore inconnue ou mal définie de ces deux agens.

SECTION II.

DE LA PROPAGATION DU CALORIQUE.

193. La chaleur tend perpétuellement à se mettre en équilibre dans tous les corps; ainsi, toutes les fois que l'un d'eux est plus chaud ou plus froid que ceux qui l'environnent, il envoie ou absorbe de la chaleur, afin de se mettre au niveau de leur température; mais par quel moyen se fait cette transposition réciproque de calorique? Est-ce par l'intermédiaire des molécules de l'air, ou des autres corps qui séparent ceux dont la température est différente, c'est-à-dire *par contact?* est-ce à distance, de la même manière que la chaleur du soleil nous parvient, c'est-à-dire *par rayonnement?* enfin les corps jouissent-ils au même degré de la propriété de transmettre le calorique, ou, s'il en est autrement, quelles règles peut-on reconnaître dans le mode de propagation de la chaleur, soit par contact, soit par rayonnement, de la part des différens corps? Telles sont les questions à l'examen desquelles nous allons nous livrer.

194. Lorsque deux corps sont à des températures différentes, le plus chaud partage son calorique avec le plus froid, tant par une transmission de rayons caloriques, que par une propagation de proche en proche, de sorte qu'après un temps plus

ou moins long, les deux corps sont en équilibre de température. Pour le moment, nous ne considérons que l'échauffement par contact, dont l'abaissement ou l'élévation subite du thermomètre, dont la sensation de froid et de chaleur des différens corps nous donnent la preuve. En effet, si l'on plonge la boule d'un thermomètre dans un liquide chaud, le calorique du liquide se partagera aussitôt avec le corps en contact avec lui, et le thermomètre indiquera un effet beaucoup plus grand que si on l'avait simplement exposé à la chaleur rayonnante de ce liquide. Un effet analogue se présentera si on le plonge dans un liquide plus froid; dans ce cas c'est le calorique du thermomètre qui se répandra dans le liquide, jusqu'à ce que l'équilibre de température soit établi. De même pourquoi, au contact de certains corps, éprouvons-nous la sensation de la chaleur ou du froid? c'est que ce corps ayant en ce moment une température plus haute ou plus basse que la nôtre, le contact établit une communication, en vertu de laquelle nous enlevons du calorique au corps que nous touchons si sa température est plus élevée que la nôtre, et nous lui en fournissons si elle est moindre. L'habitude modifie aussi singulièrement nos sensations à cet égard; il nous semble que la température du milieu qui nous entoure depuis quelque temps est égale à celle de notre corps, à moins que la différence ne soit très considérable, et cette habitude modifie nos jugemens, lorsque nous ressentons une chaleur différente; voilà pourquoi la température des caves, qui est à peu près constante, nous paraît froide en été et chaude en hiver.

Mais pourquoi éprouvons-nous une sensation de chaleur ou de froid plus vive au contact de certains corps qu'à celui d'autres substances, dans le cas où le thermomètre n'accuse aucune action,

c'est-à-dire où réellement ces corps sont à une température égale? Cet effet dépend de la faculté conductrice plus ou moins grande de ces corps, faculté qui, tout en offrant beaucoup de variations, est en général à peu près en raison de la densité. Ainsi nous éprouvons une sensation de froid plus grande en saisissant un morceau de fer qu'un morceau de bois, parce que le fer est meilleur conducteur de la chaleur que le bois; ceci va recevoir de nouvelles explications de l'étude des lois de la communication de la chaleur dans les corps.

195. La durée de l'échauffement ou du refroidissement d'un corps par le contact dépend de la faculté conductrice des substances qui lui transmettent cette chaleur ou ce froid, et comme, sous ce rapport, les corps nous offrent de grandes différences, on les a distingués en *bons* et *mauvais conducteurs* du calorique; au surplus cette communication est toujours fort lente et peu considérable, elle décroît très rapidement en s'éloignant du foyer de chaleur. On en aura une idée, en sachant qu'il serait impossible d'élever d'un degré la température de l'extrémité d'une barre de fer d'une toise de longueur, en appliquant à l'autre extrémité le feu le plus intense; cette extrémité serait en fusion, avant que l'autre soit échauffée sensiblement. Cependant la plupart des métaux sont appelés bons conducteurs, parce qu'ils jouissent de cette faculté à un plus haut degré que les autres corps; mais ils présentent entre eux de grandes différences; l'or et l'argent sont les meilleurs conducteurs, le plomb et le platine sont les plus mauvais parmi les métaux. Dans d'autres substances, telles que le bois, le charbon, la laine, cette propriété est presque nulle. Qui ne sait qu'on peut tenir à la main un morceau très court de bois ou de charbon en ignition à une de ses extrémités? Il en est de même de la plupart des substances li-

quides et gazeuses; mais celles-ci paraissent d'autant mieux conduire la chaleur qu'elles sont plus denses.

196. Il est souvent très difficile d'apprécier exactement la faculté conductrice des liquides et des gaz, parce que chez ces corps l'effet est presque toujours compliqué, en vertu de l'extrême mobilité de leurs molécules, dès qu'une portion de la masse est réchauffée ou refroidie, et par conséquent dilatée ou contractée, elle change de place et produit ainsi des courans ; or, ces mouvemens communiquent à la masse la température nouvelle, bien plus rapidement que ne l'eût fait le simple contact des molécules. Ces courans sont descendans si le corps se refroidit, ascendans s'il s'échauffe; ils paraissent être la cause du froid excessif qui règne dans les hautes régions de l'atmosphère; c'est M. Arago qui, le premier, a donné cette explication qui rend parfaitement raison du phénomène.

197. Nous venons de voir que tous les corps ne conduisent pas le calorique également bien : sous ce rapport, ils s'échauffent et se refroidissent donc inégalement et dans des temps inégaux ; l'étendue de leur surface, en faisant varier le nombre des molécules en contact, modifie puissamment cette durée. Nous allons voir qu'il en est de même du calorique acquis ou perdu par rayonnement, et de plus que l'état et la couleur de cette surface sont une seconde cause qui influe très fortement sur le temps nécessaire pour mettre un corps en équilibre de température ; ainsi, outre que chaque corps rayonne le calorique d'une manière différente, l'état de la surface entraîne encore de nouvelles variations.

Les corps les plus polis sont ceux qui absorbent le moins de chaleur, mais aussi qui en émettent le moins, et en général on peut dire que ces pro-

priétés sont toujours corrélatives; de là, il suit que ces corps doivent s'échauffer et se refroidir très lentement. Les surfaces ternes et noires, au contraire, sont celles qui absorbent la plus grande quantité de chaleur, mais aussi qui en rayonnent davantage, en sorte qu'elles s'échauffent et se refroidissent très rapidement; on conçoit combien ces connaissances ont d'applications dans les arts économiques et doivent servir pour apprécier soit la chaleur des vêtemens, soit une multitude d'autres effets. L'état de la surface change totalement les propriétés rayonnantes d'un corps; ainsi, en noircissant, en ternissant le corps le plus poli, on augmente énormément sa faculté d'absorption et d'émission de la chaleur. C'est au moyen du thermomètre différentiel de M. Leslie qu'on apprécie les plus petits rayonnemens de chaleur de deux corps; cet instrument, qui ne sert qu'à indiquer des différences de chaleur, et que pour cela on appelle *thermoscope*, est représenté *fig.* 50; les deux tubes sont remplis d'air, mais un petit cylindre d'acide sulfurique, qui, dans l'état de repos, est placé au milieu du tube horizontal, les empêche de communiquer; le moindre changement de température éprouvé par une des deux boules dilate l'air intérieur et par suite fait marcher le cylindre d'acide sulfurique.

198. Les corps, par leur rayonnement mutuel dans tous les sens, entretiennent et rétablissent perpétuellement l'équilibre de la température. En effet, un corps est-il plus chaud, il rayonne en plus grande quantité qu'il ne reçoit; il doit donc se refroidir jusqu'à ce qu'il soit arrivé au même degré de chaleur; est-il plus froid, tous les corps environnans lui envoient plus de chaleur qu'ils n'en reçoivent, et l'équilibre est de même bientôt rétabli; enfin, cette température égale s'entretient par l'échange réciproque de chaleur que font

tous les corps; mais s'il en est qui se trouvent placés de manière à rayonner sans recevoir, il est évident qu'ils devront se refroidir ; c'est ce qui se rencontre pour les corps placés à la surface de la terre, pendant la nuit, lorsque le temps n'est pas couvert, et c'est ce qui produit la rosée et la gelée blanche. Cette explication d'un phénomène journalier, donnée par M. C. Weels, est une des plus belles applications de la théorie du rayonnement; elle montre pourquoi une gaze légère suffit pour abriter les plantes des fâcheux effets de ces gelées matinales.

199. La chaleur rayonnante suit absolument la même marche, est soumise aux mêmes modifications que la lumière; aussi nous bornerons-nous à leur énonciation. C'est ici que paraît dans toute son évidence l'identité de ces deux principes, qui semblent se produire et se modifier l'un l'autre, que nous voyons soumis aux mêmes lois; en effet, le calorique se réfléchit comme la lumière à la surface des corps polis, en faisant l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence : comme la lumière, il se concentre aux foyers des miroirs réflecteurs et à celui des lentilles; il est donc, comme la lumière, soumis à la réfraction, et, comme elle, il présente le phénomène de la dispersion dans le spectre solaire. Nous étudierons par la suite ce phénomène important; pour le moment, bornons-nous à dire qu'il existe des rayons calorifiques non visibles au delà du rouge, et que l'intensité du calorique va continuellement en diminuant dans le spectre, à partir de cette extrémité jusqu'au violet. Enfin, M. Bérard a démontré récemment que le calorique, même entièrement obscur, est, comme la lumière, soumis à la double réfraction et à la polarisation; et plus récemment encore, M. Arago a reconnu qu'il présentait les mêmes phénomènes d'interférences,

c'est-à-dire de destruction, par une double réunion au même lieu.

200. Il est encore une observation sur la marche du calorique que nous ne devons pas omettre, c'est que celui qui accompagne la lumière, comme elle, traverse librement les corps diaphanes. M. Delaroche a prouvé qu'il en était de même pour la chaleur fournie par un foyer intense, tandis que celle inférieure à la température de l'eau bouillante est arrêtée; enfin, des expériences délicates lui ont fait reconnaître que ce passage de la chaleur à travers les corps augmente à mesure qu'on approche du terme où le corps chaud devient lumineux, comme si le calorique, dans les premiers effets, était composé de molécules plus grossières que la lumière, comme s'il était produit par des ondulations trop étendues ou trop lentes, pour se propager à travers les corps diaphanes et pour donner la sensation de la lumière, comme nous avons vu les vibrations de l'air lorsqu'elles ne sont pas au nombre de trente-deux par seconde, produire des mouvemens manifestes, mais ne point donner à l'oreille la sensation d'un son : or, c'est ce que nous vérifierons en effet, par la suite, lorsque nous serons parvenus à mesurer la longueur des ondulations lumineuses.

SECTION III.

DU CALORIQUE LATENT OU SPÉCIFIQUE, DE LA CAPACITÉ DES CORPS POUR LE CALORIQUE.

201. D'après la manière ordinaire d'envisager l'action du calorique dans les phénomènes chimiques, on conçoit que les corps, selon leur composition et leur état, sont susceptibles de contenir une quantité différente de chaleur; c'est cette différence de chaleur, qui, dans l'état ordinaire,

est insensible au thermomètre, mais qui reparaît si le corps vient à changer d'état ou de combinaison, qu'on désigne par les noms de *calorique spécifique* ou *latent*, ou bien encore de *calorique combiné;* c'est cette propriété des corps d'exiger des quantités de chaleur différentes pour demeurer au même état qu'on nomme leur capacité pour le calorique.

Nous avons vu, en traitant de l'état d'agrégation des corps, que l'effet des changemens de température est d'augmenter ou de diminuer leur volume et qu'ils offrent des termes différens, mais toujours constans, après lesquels ils deviennent solides, liquides ou gazeux; nous avons reconnu dans la fusion et la gazéification ce phénomène singulier, que cette limite, dans la température d'un corps, ne peut être dépassée tant que la masse entière n'a pas changé d'état; il paraît que, dans ce cas, tout le calorique ajouté s'emploie à liquéfier ou vaporiser les corps. Il nous reste maintenant à faire connaître quelle est la quantité de chaleur absorbée dans ces changemens d'état ou de combinaison.

202. Nous savons d'abord que les liquides renferment plus de calorique latent que les solides, les gaz plus que les liquides. Un corps ne passerait pas à ces formes nouvelles si on lui refusait la chaleur; ainsi la glace, pour devenir liquide, c'est-à-dire pour passer à l'état d'eau, a besoin de 75° de chaleur, car si on mélange ensemble un kilogramme de glace à 0°, et un kilogramme d'eau à 75°, on aura deux kilogrammes d'eau à 0°. La quantité de chaleur nécessaire à la gazéification est bien plus considérable, elle est même énorme; et cela ne doit pas étonner puisque le volume, dans ce cas, augmente dans une si grande proportion. On estime que le calorique nécessaire pour faire passer l'eau à l'état de vapeur, égale 5 fois $\frac{1}{2}$ ce

qu'il en faut pour l'élever de 0° à 100°. On peut juger, d'après ces exemples qui se répètent pour les autres corps avec des nombres différens, mais dans le même sens, quelle quantité de calorique est absorbée, est rendue latente, dans la fusion et surtout dans la gazéification des corps. Cette remarque sert à l'explication d'une foule de phénomènes naturels ; mais cette chaleur n'est point détruite, elle n'est dissimulée que momentanément; le retour du corps à son état primitif la fera reparaître; c'est ce que démontrent une multitude d'expériences. La chaleur développée par la compression, et notamment dans le briquet pneumatique, peut être considérée comme un effet analogue; en rapprochant les molécules, on augmente la force d'attraction aux dépens du calorique : une portion de celui-ci devient inutile et par suite libre, il se répand sur les corps environnans. Le briquet dont nous venons de parler est un cylindre de métal ou de verre; en comprimant subitement l'air qui y est enfermé au moyen d'un piston, on allume un morceau d'amadou placé dans la capsule de ce piston.

203. Quant au calorique spécifique proprement dit, à celui qui est nécessaire aux corps selon leur combinaison, sa quantité ne peut être connue d'une manière absolue puisqu'on ne possède aucun corps qui en soit entièrement dépourvu, et qu'il est probable qu'il n'en existe point dans ce cas; cette quantité de calorique ne peut donc être appréciée que d'une manière relative, par la comparaison de la quantité que chaque corps sous un même poids, absorbe ou perd en variant d'un certain nombre de degrés : ainsi, on reconnaît que, dans les corps homogènes, la chaleur se distribue uniformément, puisqu'en mêlant un kilogramme d'eau à 0° et un kilogramme d'eau à 60°, on a deux kilogrammes d'eau à 30°; mais si on fait le mé-

lange avec des corps différens, on n'obtiendra plus le même résultat; on verra que chaque corps a une capacité différente pour le calorique, c'est-à-dire demande des quantités de chaleur très différentes pour varier d'un même nombre de degrés; par exemple, si on mêle un kilogramme d'eau à 34° avec un kilogramme de mercure à 0°, le thermomètre placé dans le mélange indiquera 33°; d'où on conclut que la même quantité de chaleur nécessaire pour élever l'eau d'un degré a élevé le mercure de 33°; le calorique spécifique du mercure est donc $\frac{1}{33}$ de celui de l'eau, qu'on prend généralement comme terme de comparaison pour tous les autres corps.

204. Les physiciens ont inventé divers moyens pour mesurer cette quantité de chaleur; mais une foule de causes d'erreur rend bien difficile l'estimation rigoureuse des résultats. On vient de voir qu'on peut connaître la chaleur spécifique par les mélanges; mais la méthode la plus généralement suivie est celle de Lavoisier et de M. de Laplace, par le moyen du *calorimètre*. Cet instrument, *fig.* 51, est composé de trois cavités; une intérieure, destinée à recevoir le corps : sa cloison est un grillage; une intermédiaire, qu'on remplit de glace pilée à 0°, elle est séparée de la cavité intérieure par le grillage, mais de l'autre par une cloison mince : un robinet sert à la vider; la cavité la plus extérieure est destinée à recevoir de la glace pilée, également à 0°, et dont la destination est d'empêcher l'influence de l'air ambiant : elle se vide aussi par un robinet. La mesure de la capacité du calorique est basée, dans cette méthode, sur la connaissance de la quantité de glace fondue par chaque corps. On conçoit en effet que si on place, dans la cavité intérieure, un corps dont la température soit au-dessus de 0°, il partagera cette température avec la glace qui est en contact avec

lui, et dès lors la fondra puisqu'elle est à la température de 0° : en recueillant le produit de cette fusion, il sera facile d'en déduire la quantité de chaleur fournie par le corps. C'est par ces différens moyens qu'on a estimé la chaleur spécifique de la plupart des corps connus : on peut en voir les tables dans les ouvrages de physique de quelque étendue.

205. MM. Dulong et Petit, auxquels on doit de si belles recherches sur la chaleur, emploient une méthode différente; c'est celle qui est fondée sur l'observation et la comparaison du temps nécessaire au refroidissement des corps. Ils paraissent, par ce moyen, avoir atteint un plus haut degré de précision qu'on ne l'avait fait jusqu'alors, et en combinant leurs recherches physiques avec la théorie chimique des atomes, ils sont parvenus à ce résultat important que les atomes de tous les corps ont la même capacité pour la chaleur, en sorte que cette capacité ne varierait dans les corps qu'en raison de ce que, sous un même poids, la quantité d'atomes est plus ou moins considérable : on conçoit sur-le-champ toute la fécondité des résultats d'une observation de cette importance.

CHAPITRE II.

DE LA LUMIÈRE.

206. Nous sommes avertis de la présence des objets qui sont en contact avec nos organes par le sens du toucher, et par ceux de l'odorat et du goût, qui ne sont que des modifications du premier appropriées à certains corps; l'ouïe nous fait

apprécier ces mouvemens particuliers de l'air et des corps en vertu desquels ils deviennent sonores ; l'œil nous fait connaître des objets séparés de nous par de grandes distances, nous fait embrasser en un instant leurs formes et leurs contours, nous avertit des propriétés particulières, telles que les couleurs, qui sans lui nous seraient demeurées éternellement inconnues, nous permet souvent d'avoir la perception d'objets entre lesquels d'autres corps sont interposés, nous fait pénétrer dans l'immensité de l'espace pour nous en révéler l'ordre et l'arrangement ; c'est un scrutateur exact qui franchit pour nous les espaces, et va au loin s'informer des propriétés et de l'état des corps pour nous en apporter l'avertissement avec une promptitude infinie. Que serions-nous, sans cet admirable organe ? à quelles idées serions-nous limités si la perception de notre esprit, à tous, ne pouvait s'étendre plus loin que le distance où notre main palpe les corps ? nous serions sans doute réduits à une vie à peu près végétative. Mais que penserons-nous du génie de l'homme lorsque nous le verrons, profitant des découvertes des savans sur la marche de la lumière dans certains corps, trouver les moyens de rectifier les vices de nos organes, et de leur faire franchir des espaces dont la nature semblait nous avoir interdit l'accès.

Mais quelle est la matière qui forme ainsi l'intermédiaire entre les objets et notre organe, qui nous procure ainsi la sensation des corps éloignés ? quelle est la cause de la visibilité ? est-ce une matière émanée de notre œil, et qui va embrasser les corps, comme le pensaient les anciens, opinion qui se réfute assez d'elle-même ? est-ce au contraire, comme l'a enseigné Newton, une émanation de particules de la part du corps lumineux ou éclairé, ou bien, selon l'opinion la

plus générale des physiciens modernes, est-ce un fluide universellement répandu, qui, par des mouvemens vibratoires analogues à ceux de l'air lorsqu'il nous transmet le son, produit les phénomènes de la vision? Dans nos considérations générales sur les fluides impondérables, nous avons essayé de donner une idée de la manière d'envisager les phénomènes dans ces deux théories, et, sans rejeter absolument celle des émanations, nous avons annoncé que nous adopterions celle des vibrations, comme embrassant l'universalité des phénomènes, et en rendant compte sans le secours de suppositions gratuites aussi fréquentes. Nous ne nous arrêterons pas de nouveau sur la comparaison de ces deux systèmes, dont le choix cependant, malgré que tous deux se prêtent plus ou moins bien à l'explication des faits observés, est loin d'être indifférent, puisque, ainsi que le remarque M. Fresnel, une hypothèse peut contribuer puissamment à l'avancement de la science, en expliquant d'avance les phénomènes, en dirigeant les expériences vers un certain but, puisqu'en second lieu la théorie de la lumière ne faisant qu'un avec la théorie du calorique, peut changer totalement la manière de concevoir la plupart des effets chimiques. Nous allons voir d'abord avec quelle facilité la théorie des vibrations explique l'intensité diverse de la lumière, et dans tout ce chapitre, à mesure que les phénomènes se présenteront, nous reconnaîtrons la fécondité de ses résultats et de ses applications.

207. La lumière, de même que l'obscurité, ne sont que des états relatifs à nos organes; nous sommes doués de la faculté de percevoir les objets seulement lorsque la lumière a une certaine intensité; mais d'autres êtres peuvent avoir d'autres limites de visibilité; et en effet, l'histoire naturelle nous offre mille exemples d'animaux qui peuvent

supporter une lumière plus intense que nous sans en être incommodé, ou qui voient avec une quantité de lumière qui est pour nous les plus épaisses ténèbres. De tels phénomènes ne doivent point nous étonner, lorsque nous reconnaissons autour de nous tant de causes de mouvement pour le fluide éthéré, que son repos est presque impossible; et on conçoit que dès qu'il est en mouvement, il peut produire une impression sur certains organes. Au reste, ces phénomènes d'intensité de la lumière, qui n'étaient pas sans difficultés dans la théorie des émanations, sont une conséquence immédiate de celle que nous avons adoptée, et s'expliquent d'une manière absolument analogue à ceux des sons égaux en vitesse de transmission, mais inégaux en intensité : ainsi, de même que les ondes sonores, non par des variations dans leur longueur, ni dans la durée des vibrations, mais bien dans l'amplitude des oscillations, nous ont présenté tous les intermédiaires entre le son le plus faible et le bruit le plus fort; de même les ondes lumineuses, par des modifications semblables, présenteront toutes les différences d'intensité imaginables. On conçoit sur-le-champ qu'un tel mouvement oscillatoire pourra avoir assez d'énergie pour agir sur un organe, tandis que son action sera nulle sur un autre; dans le premier cas, le son sera entendu, le corps sera visible; dans le second, il y aura obscurité, silence complet pour l'être doué de cet organe.

208. La lumière à la surface de notre globe provient d'un assez grand nombre de sources différentes; mais la plus puissante, celle dont l'importance dans la plupart des phénomènes naturels est immense, c'est le soleil : sa nature, son mode d'action sur le fluide éthéré nous sont inconnus, mais toujours est-il constant que dès qu'il est au-dessus de notre horizon, il imprime

au fluide qui nous environne un mouvement en vertu duquel, et le soleil, et tous les corps qui reçoivent son influence, nous deviennent visibles; de même, lorsqu'il s'abaisse au-dessous de l'horizon, une obscurité plus ou moins complète succède au grand jour, nouvelle preuve qu'une cause puissante de production de lumière a disparu.

Parmi les astres, il en est quelques uns, tels que la lune, les planètes, qui ne nous sont visibles que parce qu'ils nous renvoient la lumière du soleil; mais le plus grand nombre paraissent lumineux par eux-mêmes, c'est-à-dire doués d'une propriété analogue à celle du soleil.

209. Ces sources de lumière sont générales, tandis que les autres ne paraissent être qu'accidentelles, mais elles suivent les mêmes lois; c'est pourquoi on rapporte indifféremment les expériences et les raisonnemens à la lumière solaire ou aux différentes lumières terrestres. Parmi ces dernières, celle qui accompagne un grand nombre de combinaisons des corps mérite surtout de fixer l'attention. Dans une multitude d'opérations chimiques, il y a production de lumière et de chaleur; les volcans en sont un exemple naturel; le feu que nous entretenons dans nos foyers, la lumière que nous produisons artificiellement pour nous éclairer, sont des combinaisons chimiques, causes productrices de chaleur et de lumière.

210. Les aurores boréales, l'électricité, sont encore des sources de lumière qui agissent dans certaines circonstances. Beaucoup de corps, même organisés, sont naturellement lumineux; ce sont ceux qu'on appelle phosphorescens. Qui n'a remarqué la lampyre, ou ver-luisant, qui semble une étincelle au milieu des champs? qui n'a entendu vanter par les voyageurs ces insectes, véritables lustres vivans des régions tropicales? Parmi les corps phosphorescens, les uns le sont

continuellement, d'autres n'acquièrent cette propriété que par intervalles, dans certaines circonstances. La plupart des corps qui ont été exposés à une vive lumière sont ensuite lumineux pendant plus ou moins long-temps. Les corps blancs sont presque toujours visibles, soit par la grande quantité de rayons qu'ils réfléchissent, soit parce qu'ils sont phosphorescens. Enfin le choc, la compression, le frottement, ainsi que le démontrent une foule d'expériences, rendent lumineux les corps qui semblaient devoir se refuser le plus impérieusement à acquérir cette propriété.

Nous ne pouvons nier notre ignorance sur les causes primitives de tous ces phénomènes, mais nous devons dire que beaucoup d'analogies semblent les rapporter à des phénomènes électriques, de même que nous avons vu plusieurs effets calorifiques être attribués aux mêmes causes. Peut-être touchons-nous au moment où l'on démontrera que les phénomènes lumineux ordinaires sont une dépendance du même principe, et par conséquent que tous ces effets si singuliers sont le résultat de l'action modifiée d'un seul fluide.

211. Les corps, relativement à la lumière, présentent des différences très marquées ; ainsi les uns, tels que le soleil, les corps en ignition, répandent de la lumière autour d'eux, c'est-à-dire sont des foyers qui mettent en mouvement le fluide éthéré : on dit que ces corps sont *lumineux* par eux-mêmes. Les autres renvoient en tout ou en partie la lumière qu'ils ont reçue, c'est-à-dire propagent le mouvement vibratoire du fluide en lui faisant subir diverses altérations. Ces corps, qu'on appelle *éclairés*, ne deviennent donc visibles que quand ils sont en présence des premiers. Parmi les corps éclairés, il en est qui laissent passer la lumière en plus ou moins grande quantité, tels que les gaz, la plupart des liquides, un

grand nombre de cristaux, la plupart des solides lorsqu'ils sont suffisamment amincis; on dit alors que ces corps sont *transparens* ou *translucides*. Mais il en est aussi qui arrêtent la lumière en tout ou en partie, ce sont les corps *opaques*. L'étude de ces diverses propriétés des corps a fait reconnaître et a conduit à l'explication de toutes les circonstances de la marche de la lumière, que nous exposerons dans des sections particulières.

212. Ainsi, après avoir indiqué sommairement les causes et les sources de la lumière, après avoir fait sentir toute l'importance de bien connaître la manière d'agir d'un être qui vivifie toute la nature, sans lequel nos connaissances seraient si bornées qu'il nous deviendrait impossible de soutenir notre existence, nous allons étudier les lois auxquelles il est soumis. L'optique, qui renferme tout ce qui concerne la lumière directe, sa marche, sa vitesse dans l'espace, sera l'objet d'une première section. Nous étudierons ensuite les phénomènes que la lumière présente en passant près des extrémités des corps et au travers des lames minces; là, nous verrons sortir de la théorie des interférences, qui donne l'explication complète de ces phénomènes, et forme la base du système des ondulations, les plus fortes probabilités en faveur de cette hypothèse. Dans la section suivante, nous en ferons l'application aux divers phénomènes que présente la lumière, et nous exposerons ainsi sa théorie complète, ce qui facilitera infiniment l'intelligence des détails et abrégera leur étude. La catoptrique, qui comprend les phénomènes de la lumière réfléchie à la surface des corps, occupera une quatrième section; viendra ensuite la dioptrique, qui a pour but l'étude de la lumière réfractée, c'est-à-dire déviée de sa route naturelle en pénétrant dans les différens milieux. La chromatique, ou la science des couleurs, qui n'est que

le résultat de la lumière réfléchie ou réfractée, et explique les phénomènes de la coloration des corps, sera l'objet d'une sixième section; puis viendra l'explication des phénomènes de la vision et des erreurs d'optique, la description de l'œil, les moyens de remédier aux défauts de la vue. Dans une autre section, nous donnerons une idée de l'usage et de la construction des principaux instrumens d'optique; enfin nous terminerons ce chapitre par l'exposition des phènomènes de la double réfraction et de la polarisation de la lumière, qui forment maintenant une portion de la théorie de la lumière très étendue, et presque entièrement due aux travaux des physiciens modernes.

SECTION PREMIÈRE.

DE LA LUMIÈRE DIRECTE, OU DE L'OPTIQUE.

213. De même que nous l'avons reconnu pour le calorique, la lumière, dans le vide ou les milieux de nature et de densité homogènes, se propage constamment en ligne droite, soit qu'elle émane d'un corps rayonnant, lumineux par lui-même, ou d'un corps éclairé, lumineux par réflexion. On peut donc considérer tout corps lumineux comme un centre d'ébranlement, qui imprime aux particules du fluide éthéré qui sont en contact avec lui un mouvement vibratoire analogue à celui qu'une corde élastique imprime à l'air, mouvement qui se communique ensuite indéfiniment de proche en proche, et forme une multitude de rayons qui se portent de tous côtés dans l'espace, et divergent continuellement en se propageant en ligne droite.

L'expérience nous fait reconnaître dans la lumière ces propriétés que le calcul indiquait devoir

appartenir à un fluide matériel doué d'un mouvement vibratoire : ainsi tout le monde sait qu'en interposant un corps opaque sur la ligne droite qui conduit de notre œil à un corps rayonnant, ce corps cesse de nous être visible, et telle est la cause de l'ombre des corps : de même on a pu remarquer que la traînée de lumière qui passe dans une chambre obscure, où elle a pénétré par de petites ouvertures, et qui devient visible par la réflexion partielle opérée par les particules de poussière en suspension dans l'air, suit toujours ue ligne droite. Quant à la divergence des rayons, la même expérience la fera reconnaître : en plaçant un écran à diverses distances du trou par lequel la lumière pénètre, on verra qu'elle forme un faisceau conique qui va continuellement en augmentant à partir du trou. Ces deux observations sur la marche de la lumière vont nous conduire à une foule d'applications importantes.

214. Si les rayons qui émanent d'un corps lumineux se propagent constamment en ligne droite, ils doivent continuellement se diviser et diverger en s'éloignant du point radieux, et s'ils divergent de la sorte, l'intensité de la lumière reçue par un corps, et qui sert à l'éclairer, devra décroître en raison de la distance du point lumineux. En effet, à mesure qu'ils s'éloignent, les faisceaux de lumière embrassent un plus grand espace ; la même quantité de mouvement s'applique à une plus grande surface, et dès lors on conçoit que les corps qui sont éclairés par ces faisceaux ne peuvent manifester le même éclat que s'ils avaient été frappés par des faisceaux plus abondans en rayons. On reconnaît ainsi, qu'à mesure qu'elle s'éloigne, la lumière se divise sur des surfaces qui croissent comme le carré de la distance, et par conséquent que son intensité est en raison inverse des carrés de cette distance : en d'autres termes, que si la

distance est 1, la clarté sera 1; si la distance est 2, la clarté sera $\frac{1}{4}$; 3, elle sera $\frac{1}{9}$, etc. Par là on conçoit pourquoi les corps sont tantôt très éclairés, tantôt à peine visibles, tantôt tout-à-fait obscurs, du moins pour nos organes; car nous avons fait observer que ce qui est obscurité pour nous est clarté pour d'autres yeux.

Si, au lieu de considérer l'effet d'un faisceau de rayons, nous cherchons ce qui doit arriver à un même rayon lumineux dans sa marche dans l'espace, nous concevrons sur-le-champ que son intensité devra demeurer constante dans un milieu aussi élastique que l'éther lumineux, et nous ne serons plus étonnés de la lumière très vive envoyée par les étoiles, auxquelles cependant l'astronomie ne trouve aucun diamètre sensible, qui sont à une distance dont on se fera tout à l'heure une idée, en sachant qu'il faut au moins trente ans à la lumière des plus proches pour arriver jusqu'à nous.

215. Une autre cause puisante de diminution d'intensité de la lumière, c'est l'absorption qu'en font tous les milieux, même les plus diaphanes, qu'elle traverse, et tous les corps, même les meilleurs réflecteurs, qu'elle vient frapper, ou, pour nous exprimer d'une manière plus exacte relativement au système des vibrations, c'est l'extinction de mouvement plus ou moins grande qui s'opère à la rencontre des corps : ainsi le soleil à l'horizon paraît d'un éclat moins vif, parce que la lumière traverse des couches d'air plus étendues et plus denses : ainsi nous pouvons le regarder en face lorsqu'un brouillard vient ajouter à la puissance extinctive ordinaire de l'air, ou lorsque notre œil est armé d'un verre qui ne laisse passer qu'une partie des rayons : ainsi, pour ce qui regarde les corps réflecteurs, on peut faire l'expérience que, par des réflexions suffisamment répétées, même

sur les miroirs les mieux polis, on parviendra bientôt à éteindre complétement la lumière. Dans toutes ces circonstances, il paraît que les molécules des corps, tant en raison de leur densité que de leur nature, anéantissent une plus ou moins grande quantité du mouvement imprimé au fluide éthéré lorsqu'il vient à les rencontrer; de même que nous avons vu le son s'amortir instantanément sur certains corps, et surtout après quelques échos; de même que nous avons vu les corps élastiques ne rebondir qu'en partie après le choc. Au reste, nous aurons occasion de revenir sur cette absorption de la lumière en traitant de la réflexion et de la réfraction.

216. Nous avons vu dans l'expérience citée au commencement de cette section, que la lumière qui pénètre dans une chambre obscure par une petite ouverture forme des faisceaux divergens coniques : elle nous servira encore à reconnaître que chaque point d'un corps lumineux doit être considéré comme un centre d'ébranlement particulier, qui renvoie des rayons dans tout l'espace car si on reçoit l'image du faisceau lumineux à une distance suffisante de l'ouverture, on reconnaîtra qu'elle a constamment la forme du corps lumineux; nous en avons chaque jour la preuve sous nos yeux. En effet, si on examine les taches lumineuses produites par le soleil à travers le feuillage des arbres, on les trouvera constamment circulaires, tandis que quand le soleil est en partie caché par une éclipse, ces taches ont la forme de la portion de son disque qui nous envoie de la lumière. La même expérience fait encore voir, en premier lieu, que les corps nous paraissent colorés, parce que la lumière qu'ils nous envoient l'est elle-même, puisqu'en laissant pénétrer la lumière réfléchie d'un de ces corps au lieu de celle du soleil, nous la voyons présenter toutes les va

riations de couleur de ce corps ; et en second lieu, elle nous explique pourquoi cette image, reçue derrière un plan percé d'une ouverture, est nécessairement renversée : il suffit de jeter les yeux sur la *fig.* 52 pour reconnaître que l'image du corps A B doit se peindre renversée sur l'écran E.

217. On a cru pendant long-temps que la transmission de la lumière était instantanée, et les expériences analogues à celles qui avaient fait découvrir la vitesse du son conduisaient à ce résultat. Mais Rœmer, en cherchant la cause des inégalités remarquées dans le mouvement des satellites de Jupiter, par l'observation de leurs éclipses, reconnut bientôt qu'elle était due au temps nécessaire pour que la lumière qu'ils nous envoient parvînt jusqu'à nous. En effet, leur disparition apparente devançait celle calculée lorsque la terre se trouvait placée entre Jupiter et le soleil, et était en retard lorsque notre globe se trouvait de l'autre côté du soleil par rapport à Jupiter ; cette différence était de 16 minutes $\frac{1}{2}$ environ, d'où l'on conclut que la lumière mettait ce temps à parcourir l'orbite terrestre, et par conséquent qu'elle nous venait du soleil en moitié de ce temps. La lumière parcourt donc environ 33 millions de lieues en 8 minutes 13 secondes, c'est-à-dire environ 67,000 lieues par seconde, vitesse prodigieuse, dont on se fera une idée en réfléchissant qu'il faudrait plus de 32 ans à un boulet de canon pour parcourir ce même espace qui sépare le soleil de la terre.

218. Nous venons déjà d'acquérir quelques notions expérimentales sur la marche de la lumière, et de saisir quelques aperçus sur sa nature ; déjà nous avons indiqué que la lumière envoyée par un corps lumineux, en arrivant sur notre globe, éprouve de la part des corps certaines modifications, qui consistent à être tantôt renvoyée

en partie, tantôt déviée plus ou moins, et de diverses manières. Avant d'entrer dans l'étude détaillée de ces phénomènes, il est nécessaire de compléter les idées théoriques qu'on doit se former sur la cause de tous ces phénomènes dans le système des vibrations : par là l'exposé de la théorie aura plus d'ensemble; nous pourrons nous dispenser de nous y arrêter longuement par la suite, et l'intelligence des phénomènes sera plus facile; c'est pourquoi, après avoir exposé les phénomènes de la diffraction et de l'inflexion de la lumière, qui servent de base à la théorie toute moderne des interférences, théorie qui jette tant de jour sur toute celle de la lumière, nous indiquerons de quelle manière on peut concevoir que se produisent la réflexion, la réfraction et la coloration des corps.

SECTION II.

DE LA DIFFRACTION ET DE L'INFLEXION DE LA LUMIÈRE; DES ANNEAUX COLORÉS; THÉORIE DES INTERFÉRENCES.

219. En traitant de la théorie du son, nous avons vu que dans les milieux de densité semblable, tous les sons, quelle que soit leur nature et leur énergie, se propagent avec la même vitesse, qu'ainsi leur intensité dépend de l'amplitude des oscillations, mais non de leur vitesse de transmission. Nous avons vu également que la nature des sons, c'est-à-dire le ton, dépend de la succession plus ou moins rapide des vibrations, succession qui ne change rien à la vitesse de propagation du son à travers les différens milieux, et est une conséquence de la longueur des ondulations. Nous avons encore vu, et c'est une conséquence de la

nature des mouvemens vibratoires qui sont produits par des condensations et des raréfactions alternatives, que toutes les fois que deux ou plusieurs ondes sonores parviennent en un même point, elles s'ajoutent ou se combinent, lorsque dans cet instant leur mouvement se fait dans le même sens; et au contraire se détruisent, se neutralisent en tout ou en partie, lorsque ce mouvement est en sens contraire. On a pu remarquer les mêmes effets lorsqu'on jette une pierre dans l'eau : aux endroits où les groupes d'ondes à peu près égaux se croisent, l'eau demeure immobile, tandis qu'aux endroits où ils coïncident les ondes sont renforcées.

Ces principes, que l'expérience nous démontre, mais que le calcul prouve être inhérens aux milieux homogènes auxquels on communique un mouvement d'oscillation, s'appliquent entièrement aux phénomènes de la lumière, et servent à les expliquer avec une simplicié et une fécondité admirables. Mais indiquons d'abord les expériences qui ont servi de base à l'établissement de la théorie des interférences, due en premier lieu au célèbre physicien T. Young, et qui, en levant les principales difficultés opposées au système des vibrations, lui ont donné le plus haut degré de probabilité.

220. Déjà Newton et Grimaldi avaient observé que la lumière éprouve certaines modifications en passant près des extrémités des corps ou par de petites ouvertures; ce sont ces modifications qu'on a désignées sous le nom de *diffraction* ou d'*inflexion* de la lumière. Les physiciens modernes se sont beaucoup occupés de ces effets, et ont varié de mille manières les expériences, tant pour démontrer ce qui se passe dans ces phénomènes que pour en rechercher les lois : c'est assez dire qu'il nous sera impossible même d'indiquer leurs travaux;

nous devons donc nous borner à l'exposé succinc des résultats.

Lorsqu'on reçoit l'ombre d'un corps sur un car ton exposé au soleil, on remarque que la pénom bre, qui est produite toutes les fois que le corp éclairant n'est pas un point sans dimension, par la portion des rayons du point S qui parvient en A, *fig.* 53, ainsi que l'explique sa simple inspection: on remarque, disons-nous, que la pénombre es entourée d'une auréole beaucoup plus lumineus que le reste du carton; de plus, si le corps qui projette son ombre est d'une petite dimension, en éloignant un peu le carton, on remarque que le phénomènes changent, en ce que le milieu d l'ombre est éclairé, qu'il reste autour un annea obscur, puis paraît ensuite une auréole lumineus extérieure amplifiée.

221. Pour examiner le phénomène d'une ma nière plus complète, si nous faisons l'expérienc dans une chambre obscure, où la lumière du so leil pénétrera par une petite ouverture, nous ver rons l'ombre d'un corps très mince, projetée su le carton, non plus seulement entourée d'un auréole, mais de plusieurs franges alternative colorées, séparées par des intervalles obscurs, e dont les couleurs se succéderont comme nous ver rons qu'elles se succèdent dans les anneaux colo rés; de même, si on observe l'intérieur même d l'ombre, on y verra aussi des bandes alternative ment obscures et brillantes.

Enfin si, pour simplifier le phénomène, au lie d'employer de la lumière composée comme l lumière blanche, nous nous servons d'une lumièr homogène, c'est-à-dire d'une seule couleur, nou n'observerons plus des franges nuancées, mais d'un seule couleur, séparées par des bandes obscures dont l'intensité ira continuellement en décroissan à mesure qu'elles s'éloigneront de l'ombre, nou

veau phénomène analogue à ce que présentent les lames minces.

Maintenant, pour compléter l'exposé des phénomènes de la diffraction, remarquons que les franges se manifestent distinctement, d'autant plus loin du corps opaque que la lumière est plus homogène; ce qui doit être, d'après la cause de leur production, ainsi que nous le verrons tout à l'heure. En second lieu, qu'il n'est pas nécessaire de recevoir ces franges sur un carton pour les apprécier, mais qu'elles se forment dans l'espace, et que c'est en les mesurant de la sorte, au moyen des micromètres, en les observant à la loupe, qu'on a pu connaître avec la dernière précision, du moins pour quelques unes, et leur largeur, et leur couleur, et leur véritable forme.

222. Il résulte, des phénomènes que nous venons d'analyser, que la lumière, en passant près des corps, paraît s'infléchir en dedans et en dehors de l'ombre par bandes alternatives, et qu'en faisant varier certaines circonstances, là où se présentait une bande lumineuse sera une bande obscure, *et vice versâ*. Voyons maintenant quelle explication on donne de ces phénomènes.

Dans le système de l'émission, on est contraint de supposer l'action de forces attractives et répulsives; on est forcé de regarder la lumière réfléchie comme repoussée, la lumière transmise comme attirée, ainsi que nous le verrons plus loin; et pour les phénomènes de diffraction, il faut dire qu'elle est alternativement repoussée et attirée, tandis qu'elle sera alternativement attirée et repoussée en modifiant quelques conditions. Telle est l'origine de l'ingénieuse *théorie des accès* inventée par Newton, et dans laquelle il supposait les molécules lumineuses, depuis le moment de leur départ, prédisposées à être transmises ou réfléchies, attirées ou repoussées. D'abord com-

ment comprendre, de la part de corps qui ne varient point, des actions si diverses, surtout depuis qu'il a été démontré que la nature et l'épaisseur du corps opaque ne changent rien aux phénomènes de diffraction, surtout depuis qu'on a vu qu'on annulait les franges lumineuses intérieures de l'ombre en interceptant les rayons d'un seul côté, et qu'on les faisait reparaître en amenant en ce point deux rayons semblables? Mais, maintenant qu'on prouve d'une manière directe et irrécusable qu'en ajoutant de la lumière à de la lumière on ne rend pas toujours son éclat plus intense, mais on produit souvent de l'obscurité, ainsi que nous le verrons tout à l'heure, on peut dire que, dans l'état actuel des choses, les phénomènes de diffraction sont complétement inexplicables dans le système de l'émission; ils sont, au contraire, une conséquence nécessaire du principe des interférences.

223. Dans le système des vibrations, où l'on considère la lumière comme produite par un mouvement ondulatoire dans un éther éminemment subtil et élastique, on conçoit parfaitement que l'obscurité, c'est-à-dire la cessation du mouvement, pourra être produite par la coïncidence de deux ondes dans le même lieu; il suffira pour cela qu'elles arrivent avec des mouvemens d'ordre contraire, c'est-à-dire l'une avec un mouvement en avant, que j'appelle *de condensation;* l'autre avec un mouvement en arrière, que j'appelle *de raréfaction.* C'est sur ce principe que repose toute la théorie des interférences, et voici l'expérience qui en démontre la vérité :

Si vous faites arriver en un point C, *fig.* 54, au moyen de deux miroirs A B formant entre eux un très petit angle, deux rayons partis de S, comme ils ont parcouru le même chemin et arrivent dans des circonstances pareilles, ils vibreront à l'unis-

son, leur mouvement s'ajoutera, la lumière sera augmentée en intensité. Maintenant si on recule un des miroirs de façon qu'un des deux rayons, ayant parcouru plus de chemin, parvienne en C en vibrant en sens contraire, il arrivera nécessairement que les mouvemens se neutraliseront, et il en résultera repos et obscurité en ce point. On conçoit qu'en reculant davantage le miroir on retrouvera la période de mouvement de même ordre, et par conséquent le point de coïncidence sera très éclairé. C'est ainsi qu'on aura alternativement des bandes obscures et lumineuses *r c*, dont l'observation conduira à ce résultat important de faire connaître la longueur et la vitesse de chaque ondulation, et par suite la loi de la période des influences semblables ou contraires. En cherchant cette loi, suivant laquelle les rayons, en raison des différences de chemin parcourues, s'ajoutent ou se détruisent en tout ou en partie, on a trouvé qu'ils se réunissent selon la période 1, 2, 3, 4 *d*, et se neutralisent dans les positions intermédiaires $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$, $\frac{7}{2}$ *d*, appelant *d* la différence des chemins parcourus.

224. C'est de la sorte qu'on a reconnu que la longueur moyenne des ondulations lumineuses est d'environ $\frac{1}{2}$ millième de millimètre, et qu'on a calculé que la millionième partie d'une seconde suffit à la production de 564,000 ondulations. Nous avons dit la longueur moyenne; car, de même que nous avons vu les divers sons appréciables être produits par des ondulations de différente longueur, de même les rayons de diverses couleurs ne sont pas produits par des ondes égales; celles qui produisent la sensation du rouge sont presque doubles de celles qui produisent la sensation du violet.

225. On doit donc penser, et cette supposition semble bien naturelle, que les corps qui sont lu-

mineux, soit par incandescence, soit par toute autre modification, ont des molécules dans tout état de vibration possible. Nous ne saurions trop le rappeler, ces vitesses d'oscillations, si différentes, si inégales, ne changent rien à la vitesse de transmission, ainsi que nous l'avons vu pour l'air, qui transmet également les sons les plus graves et les plus aigus, par la raison que si la succession des condensations et des raréfactions est plus rapide, le rayon qu'elles embrassent est moins grand précisément dans le même rapport; mais cette inégalité de vitesse dans le mouvement primitif a pour résultat immédiat la formation d'ondes de longueur très différente; dans un milieu élastique et homogène comme l'éther, la répétition plus rapide des vibrations ne saurait avoir lieu, si la longueur des ondes ne variait pas. On peut donc concevoir que le corps lumineux imprime à l'éther des oscillations de toute vitesse, y produit par conséquent des ondes de longueur très inégale. Toutes celles dont l'étendue varie entre 6 et 4 dix millièmes de millimètre environ, sont visibles pour nos organes et par l'impression répétée de leurs vibrations, qui, en raison de la longueur des ondes, sont plus ou moins rapides, produisent en nous la sensation de toutes les couleurs, de même que les vibrations plus ou moins vives du corps sonore, transmises à notre oreille, nous donnaient la sensation des différens tons. Toutes les ondes dont la longueur excède celle que nous venons de mentionner sont invisibles pour nous, mais manifestent leur présence par des actions calorifiques; celles dont la longueur est moindre, et dont nous ignorons pareillement la limite, sont également insensibles à nos organes de vision, mais se manifestent par des actions chimiques, ainsi que nous le verrons en parlant du spectre.

226. D'après ce que nous venons d'exposer, il ne paraîtra plus extraordinaire que les phénomènes des interférences se présentent dans des circonstances si rares, à de si petites distances; que les franges, que les anneaux colorés deviennent bientôt confus, se recombinent promptement : car puisque les ondes des diverses couleurs n'ont ni la même vitesse ni la même longueur, leurs intermittences d'ombre et de lumière, dans l'expérience que représente la *fig.* 54, cesseront bientôt de se rencontrer exactement; et, quelque faible que soit cette différence, quand elle sera répétée un grand nombre de fois par la formation d'un grand nombre d'anneaux, elle produira nécessairement une opposition entre les modes d'interférences des différens rayons, opposition qui compensera l'affaiblissement des uns par le renforcement des autres, d'où résultera la recomposition de la lumière primitive. Cet effet sera d'autant plus retardé, que la lumière employée sera plus homogène. Il est de plus nécessaire que la lumière émane d'une source commune; car s'il est vrai que tout système d'ondes qui en rencontre un autre exerce sur lui son influence, il ne suffit pas que cette influence existe pour qu'elle nous soit sensible, il faut encore qu'elle agisse d'une manière permanente. Or, elle ne peut agir ainsi que quand deux systèmes émanent d'une même source; car les particules des corps éclairans, qui, par leurs vibrations, ébranlent l'éther et produisent la lumière, doivent éprouver dans leurs oscillations des perturbations fréquentes et de toute nature, en raison des changemens qui s'opèrent autour d'elles; de telle sorte que ces changemens, étant trop rapides, nous sont insensibles, et la lumière paraît le résultat d'une émission régulière.

227. On peut encore produire directement les

phénomènes d'interférences, en employant deux miroirs un peu inclinés l'un sur l'autre, comme on le voit dans la *fig.* 55, que j'emprunte à M. Fresnel, et qui a l'avantage de représenter aux yeux les périodes des ondulations positives ou négatives, les lignes pleines représentant les points où les molécules sont animées du maximum de vitesse en avant, et les lignes ponctuées ceux où elles sont animées du maximum de vitesse en arrière; ce que nous avons également tâché de rendre sensible dans les deux autres figures qui représentent des phénomènes d'interférences, où nous appelons *C* le mouvement en avant ou de condensation, et *R* le mouvement en arrière ou de raréfaction. D'où l'on voit que les bandes brillantes doivent se rencontrer aux endroits où les arcs semblables se coupent, puisque là il y a accord parfait; et les bandes obscures aux intersections des lignes dissemblables, puisque là il y a discordance complète.

Au lieu de faire varier la distance ou l'inclinaison des miroirs, on peut encore produire ces phénomènes en faisant varier la densité ou la nature des milieux sur le passage d'un des systèmes d'ondulations, comme le représente la *fig.* 56. En effet, si nous supposons que dans l'un des tubes où passe la lumière on diminue la densité de l'air, ou bien on change la nature du milieu en y introduisant la plus petite quantité de gaz ou de vapeur, il arrivera que ce faisceau de lumière, hâté ou retardé dans sa marche, ne parviendra plus au point C dans le même temps, et on le verra présenter avec l'autre rayon des alternances de coïncidence et de discordance. L'interposition de tout autre corps transparent, d'une épaisseur plus ou moins grande, produira les mêmes effets. Cette belle expérience, due à M. Arago, lui sert à expliquer la scintillation des étoiles, et lui fait ap-

précier les plus petites modifications dans l'état d'un corps.

228. On conçoit maintenant comment la concordance et la discordance alternative de deux systèmes d'ondulations produit des franges ou des bandes alternativement obscures et brillantes; il sera facile d'en faire l'application aux divers cas de diffraction et d'inflexion de la lumière, en remarquant qu'on peut considérer les vibrations d'une onde lumineuse, comme la résultante des actions partielles de chacun de ces points agissant isolément; que dès lors son intensité, et par suite sa vitesse et sa longueur, demeurent uniformes, tant qu'aucune portion de l'onde n'est ni interceptée ni retardée, puisque la résultante est la même pour tous les points; tandis qu'elle varie pour chacun d'eux, lorsqu'une portion de l'onde est interceptée; d'où il résulte que des variations d'intensité, de vitesse et de longueur se manifesteront, et produiront divers phénomènes d'interférences. Il arrive alors la même chose qu'aux cordes vibrantes, qui, en premier lieu, tout en exécutant une vibration totale de toute leur longueur, n'en exécutent pas moins un grand nombre de vibrations partielles qu'on peut rendre sensibles par l'expérience, dont on peut aussi apprécier les sons, et qui, en second lieu, sous l'influence de la moindre cause déterminante, changent leur ondulation primitive unique en plusieurs ondulations résultantes de la première.

229. L'action des lames minces s'explique d'une manière tout-à-fait analogue. Mais remarquons d'abord que les alternances d'anneaux obscurs et brillans, quand on emploie de la lumière homogène, et d'anneaux colorés, quand on se sert de lumière blanche, offrent une identité complète dans la disposition et les couleurs avec les franges et les bandes qui nous ont fait reconnaître

le phénomène des interférences. Les effets des corps transparens de toute nature réduits en lames minces sont donc identiques avec les précédens. Voici en quoi ils consistent : tous les corps transparens, réduits en lames minces et exposés à la lumière, produisent ce qu'on appelle des couleurs irisées plus ou moins nombreuses, plus ou moins nettes ; c'est ce qu'on peut remarquer notamment sur les lames minces de mica et sur les bulles de savon ; mais ces observations n'étaient susceptibles d'aucune précision. Newton, à qui on doit ces belles recherches, et qui s'en est servi pour fonder sa théorie des accès, remarqua qu'en pressant l'une contre l'autre deux plaques dont l'une est légèrement convexe et transparente, on produit des effets semblables, puisqu'on obtient ainsi une lame mince d'air, ou d'eau, ou de toute autre substance fluide. Tel est le moyen d'obtenir les phénomènes des anneaux colorés. Comme dans ce dernier cas il est facile de connaître l'épaisseur de la lame mince par le calcul de la convexité de la plaque, on conçoit qu'on déterminera de la sorte l'épaisseur où se produit chaque teinte, ou bien chaque anneau obscur et brillant.

230. C'est ainsi qu'on a reconnu que ces phénomènes étaient identiques avec ceux de la diffraction, et qu'ils présentaient les mêmes phénomènes d'interférences, parce que la différence des chemins parcourus par les rayons qui sont réfléchis à la première et à la seconde surface de la lame mince établit des accords ou des discordances semblables. C'est ainsi qu'on a reconnu que l'épaisseur de la lame était toujours correspondante à la longueur d'ondulation. On peut donc prédire à l'avance les endroits où se manifestera telle couleur, où sera un anneau obscur ou brillant. L'illustre Newton, qui avait reconnu cette loi, mais qui ne l'attribuait pas à la même cause, a déter-

miné l'épaisseur des lames d'air, d'eau et de verre pour sept ordres d'anneaux, faisant un total de trente couleurs (1). On conçoit facilement que si les lames minces ne peuvent en manifester un plus grand nombre, elles n'en sont pas moins beaucoup plus multipliées, ou, pour mieux dire, réellement infinies.

SECTION III.

THÉORIE DE LA LUMIÈRE.

231. Résumons maintenant les conséquences des observations précédentes, et aussi bien pour mettre plus d'ensemble dans l'exposé de la théorie que pour éviter d'y revenir en parlant de chaque phénomène particulier, voyons de quelle manière on peut concevoir que les choses se passent. Avec les données que nous a fournies l'observation des interférences, nous sommes en mesure d'expliquer tous les phénomènes que la lumière nous présente.

Un fluide éthéré éminemment subtil et élastique remplit tout l'espace; et nous ferons remarquer ici que l'existence d'un tel fluide, admis par Newton pour l'explication de la gravitation universelle, paraît maintenant démontrée par tous les phénomènes électriques, puisque, pour concevoir la transmission instantanée des décharges, il est indispensable d'admettre un milieu électrique aussi élastique qu'il est nécessaire de le supposer pour la propagation de la lumière. Les corps lumineux, par les mouvemens oscillatoires

---

(1) *Voyez* le Tableau de ces ordres de couleurs dans les Traités détaillés de physique, et spécialement dans l'*Optique* de Newton.

de toute sorte que prennent leurs molécules, en vertu de causes qui nous sont inconnues, mais qui sont peut-être analogues aux courans électriques que nous verrons produire l'incandescence, impriment à cet éther des vibrations également de toute nature. Un milieu élastique comme l'éther ne peut exécuter des vibrations d'inégale vitesse, sans que les ondulations qui en résultent changent de longueur; mais ces modifications n'en apportent aucune dans la vitesse totale de la propagation du mouvement, les oscillations étant plus rapides, mais aussi plus courtes dans le même rapport; la seule différence est donc que les chocs reçus dans le même espace de temps sont plus multipliés, d'où résultent des impressions diverses. Quelle que soit la vitesse des vibrations, elles se propagent autour du centre d'ébranlement dans tous les sens, en ligne droite, d'une manière égale et sans changer de nature, pourvu que le milieu demeure homogène. Le calcul démontre que toutes ces propriétés sont inhérentes aux molécules d'un milieu élastique, soumises à un mouvement, en avant ou en arrière, de condensation et de raréfaction. En effet, la molécule du corps vibrant imprime son mouvement en avant à la première couche de fluide, celle-ci le communique à la seconde, et ainsi de suite; mais aussitôt la molécule rappelée en arrière abandonne la couche de fluide; celle-ci, en vertu de son élasticité, revient donc sur ses pas, la seconde agit de même, et ainsi de suite.

232. Ainsi nous voyons déjà que, lorsqu'un corps nous paraît lumineux, c'est qu'il imprime à l'éther des oscillations de toute vitesse, forme conséquemment des ondulations de toute longueur, ainsi qu'on peut se le représenter en voyant la *fig.* 57. Ces variations se succèdent si rapidement, que chacune d'elles ne peut produire une impression; elle sera donc le résultat de leur

effet composé, et on n'appréciera ni leur accord ou discordance, ni leurs couleurs, c'est-à-dire leur longueur d'ondulation; la lumière paraîtra blanche, accompagnée d'effets calorifiques et chimiques, et sans interférences. Mais si, par un moyen quelconque, nous séparons ces effets partiels, et les forçons à se continuer pendant un temps appréciable, dès lors nous pourrons juger la longueur des ondes et les points où le mouvement vibratoire a lieu en avant ou en arrière. Dans ce cas, les couleurs, c'est-à-dire les tons de la lumière, nous seront appréciables, les effets calorifiques et chimiques pourront être produits sans lumière. Il est inutile de faire remarquer qu'aucune de ces circonstances, c'est-à-dire la nature de la lumière, l'ordre des mouvemens, la vitesse de propagation, ne seront modifiées par l'intensité de la lumière; car alors, de même que pour le son, l'amplitude seule des oscillations varie, mais du reste tout demeure dans le même état.

Tels sont les phénomènes que présente la marche de la lumière dans l'espace; tous démontrés par l'expérience, sont aussi des conséquences nécessaires de l'existence d'un éther, mis en mouvement vibratoire; nous allons voir qu'il en est de même des phénomènes de la réflexion, de la réfraction et de la coloration des corps. Tel est l'avantage du système d'Huyghens, ressuscité par M. Young, l'auteur de la théorie des interférences, si perfectionnée en ce moment par les travaux et les recherches de MM. Arago et Fresnel; c'est, en embrassant tous les phénomènes, de pouvoir d'avance les prédire; c'est, en se soumettant à toutes les expériences, de pouvoir les annoncer par le calcul; c'est enfin, en se liant facilement aux phénomènes de la chaleur et de l'électricité, de rapprocher des effets qui manifestent si souvent leur analogie.

233. Dans un milieu élastique et homogène, tout ébranlement se propage constamment dans le même sens, en se communiquant de proche en proche. Ainsi, une bille qui vient en frapper une autre de masse égale, lui communique tout son mouvement, et reste en repos; mais il n'en est plus ainsi lorsque les masses sont inégales; en effet, continuant l'exemple de la bille, si celle qui vient frapper l'autre est plus considérable, elle partagera son mouvement avec elle, mais ne le continuera pas moins dans le même sens; au contraire, si elle est plus petite, tout en imprimant à la première un léger mouvement, elle sera repoussée en sens contraire de sa direction primitive. Ce n'est donc point la réflexion en elle-même qu'il est difficile de concevoir; car, d'après l'énorme différence qu'on doit supposer exister entre les molécules de l'éther et celles du corps, on voit que la réflexion doit être fort considérable; mais c'est comment il se fait que, sur des surfaces qui, pour la lumière, doivent être si inégales, la réflexion soit cependant si régulière, et fasse constamment l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence.

Dans la théorie d'Huyghens, cette singularité s'explique sans avoir besoin d'une surface parfaitement polie. En effet, dans ce vaste système, on a vu que toutes les fois qu'une onde est brisée, ou en partie interceptée, il faut considérer chacun de ses points, comme devenant un centre d'ondulation particulier; il s'ensuit que lorsqu'une onde arrivera à la surface du corps réflecteur, les particules de ce corps la décomposeront et enverront des rayons dans tous les sens. Mais ces rayons seront invisibles à cause de leur isolement, ou détruits par les interférences à cause de l'inégalité des chemins parcourus, excepté ceux qui, envoyés par la portion des molécules du corps ré-

flecteur, placées dans le même plan, auront également dans le même plan les centres de leurs ondulations particulières; car alors aucun effet opposé ne peut détruire le mouvement, comme il arrive pour les autres points, et ces ondes particulières reformant une onde réfléchie semblable à l'onde incidente, auront acquis de nouveau les conditions nécessaires pour être visibles. La *fig.* 58 montre pourquoi cette ondulation réfléchie visible fait l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence; c'est qu'en effet, dans cette seule direction, l'onde primitive totale se retrouve composée avec une semblable vitesse par les ondes partielles que forme chaque point de la surface réfléchissante.

234. Nous avons vu, par les phénomènes des interférences, que les diverses substances transparentes ralentissent le mouvement des ondulations : ceci va nous faire découvrir la cause de la réfraction. En effet, dès que le mouvement est ralenti par le milieu réfringent, et en raison de sa densité et de sa nature, il arrivera que l'onde totale, composée en route par la réunion des mouvemens élémentaires, se décomposera, et chaque point de la surface réfringente deviendra le centre d'une ondulation particulière. Mais, ainsi que nous venons de le voir pour les ondes réfléchies, chacune de ses ondes particulières ne produira pas une impression de lumière, par la raison qu'un seul rayon n'est pas appréciable; il n'y aura que ceux qui pourront se recomposer en suivant une même ligne, et parcourant un égal chemin, qu'avant d'arriver à la surface réfringente, qui seront visibles, et le calcul démontre que ce sont ceux dont le sinus de l'angle d'incidence est en rapport constant avec le sinus de l'angle de réfraction, puisque c'est suivant cette loi que se reproduisent dans les différens milieux les variations de longueur et de vitesse des ondulations, première

cause des phénomènes de la réfraction : on en voit un exemple dans la *fig.* 59. Toutes les ondes particulières qui ne suivront pas cette route ne pourront donc se réunir pour reformer une onde totale sensible; elles seront perdues ou détruites par les interférences. Nous savons que les rayons des diverses couleurs n'ont pas la même vitesse d'oscillation, ni par conséquent la même longueur d'ondulation; car nous avons vu que cette longueur variait pour les couleurs appréciables entre 4 et 6 dix-millièmes de millimètre; il en résulte donc qu'ils ne seront pas modifiés de la même manière en entrant dans les corps réfringens, et par conséquent qu'à leur sortie on les verra séparés dans l'ordre des couleurs du spectre, c'est-à-dire dans l'ordre de leur réfrangibilité.

La réfraction des milieux de densité variable comme l'air, s'explique de même très simplement par l'inégalité de vitesse des rayons, ainsi que le fera comprendre la *fig.* 60; car si les rayons, partis du point lumineux C, se propagent plus lentement dans la partie CT de l'atmosphère la plus dense, que dans celle CZ la plus rare, l'observateur en A, au lieu de rapporter l'objet lumineux à sa véritable position C, le verra en D, où il est élevé par les inégalités de vitesse des rayons dans le trajet de C en A.

235. Venons-en maintenant à la coloration des corps : c'est un des points de la théorie de la lumière qu'on oppose comme une objection au système des vibrations; voyons donc comment, dans cete hypothèse, on peut expliquer les couleurs propres des corps. Nous avons dit que, dans un milieu homogène et élastique, les ondes de toute longueur se propageaient avec une vitesse égale, et le calcul prouve qu'il doit en être ainsi dans un fluide parfaitement élastique; mais on conçoit que, dans les milieux imparfaitement élastiques,

il peut ne plus en être de même, et l'expérience nous démontre en effet que, dans certains liquides, les ondes, qui se forment à leur surface, se propagent plus vite quand elles sont plus larges que quand elles sont plus petites; nous voyons aussi divers échos ne renvoyer que certains sons. Ainsi, dit M. Young (1), à qui j'emprunte cette explication, l'éther étant un fluide parfaitement élastique, toutes les ondulations s'y propageront avec la même vitesse, et la lumière directe nous paraîtra blanche; au contraire toutes les substances naturelles transparentes ou demi-transparentes, comme sont les corps colorés, devant être considérées comme des corps imparfaitement élastiques, les ondes pourront s'y propager inégalement.

D'après cela, si nous cherchons à compléter l'explication des phénomènes, on comprendra d'une part pourquoi la réfrangibilité du violet est plus considérable que celle du rouge, puisque la lumière rouge est produite par des ondulations de longueur plus grande que la lumière violette, et d'une autre part comment se forment les couleurs propres des corps; en effet, on conçoit que les corps ayant des degrés d'élasticité très divers pourront renvoyer très diversement les ondulations de longueur différente qui viendront les frapper, et pénétreront en partie dans leur substance; on conçoit aussi que de cette diversité dans la dispersion des rayons de longueur inégale, il devra résulter une multitude d'interférences constantes qui concourront à la formation de la couleur du

---

(1) Mémoires de M. Thomas Young, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, years 1800-1802. *Voyez* aussi l'article Optic de l'*Encyclopedia of Edimburgh.*

corps en neutralisant les autres couleurs. Ainsi, parmi les corps, les uns renverront également les ondes de toute longueur, et ils paraîtront blancs; les autres, en les laissant pénétrer dans leur intérieur, les éteindront, ou bien les renverront de façon qu'il y aura toujours discordance complète entre les ondes qui se rencontreront, et par conséquent destruction du mouvement, ces corps paraîtront noirs; enfin les autres ayant des propriétés intermédiaires entre ces deux extrêmes, produiront aussi des effets intermédiaires, anéantiront certaines ondes, renverront les autres, ces corps présenteront des couleurs, des nuances aussi infinies que peuvent l'être les longueurs des ondes. Au reste, que des propriétés si compliquées dans leurs effets ne surprennent point, car elles dépendent uniquement de la position des molécules des corps et de la manière dont elles renvoient les ondulations, et on conçoit que cette position des particules élémentaires doit être aussi variée que la nature même des corps. Au reste, ne pourrait-on point supposer aussi que l'élasticité imparfaite des corps est cause que le mouvement vibratoire est détruit en tout ou en partie, ou bien, ce qui est peut-être plus probable, qu'il est modifié, ralenti, par exemple, et par conséquent changé en tout ou en partie en vibrations invisibles, mais qui pourront encore produire des effets calorifiques? Cette opinion semble appuyée par la manière dont se comportent les différens corps dans le rayonnement de la chaleur.

Entrons maintenent dans le détail des faits et dans l'étude des phénomènes de la lumière, sans nous occuper de leur théorie.

SECTION IV.

DE LA RÉFLEXION DE LA LUMIÈRE, OU DE LA CATOPTRIQUE.

236. La lumière se réfléchit toujours plus ou moins lorsqu'elle frappe la surface des corps, même liquides ou fluides aériformes, de même qu'elle s'éteint toujours en partie, même à la surface des corps qui la renvoient le mieux. Parmi les corps réflecteurs, les uns dispersent la lumière, en renvoient certaines portions, et retiennent les autres, le plus souvent d'une manière constante, ce sont les *corps colorés;* les autres, qu'on nomme spécialement *réflecteurs*, renvoient la lumière aussi plus ou moins abondamment, mais avec régularité, c'est-à-dire qu'ils ne changent point la lumière des corps dont ils renvoient les rayons, mais ne font que diminuer l'intensité de leur éclat : c'est de ces derniers que nous devons nous occuper dans cette section.

Pour obtenir une réflexion régulière, la première condition à laquelle il faut satisfaire, c'est de polir la surface du corps qui doit renvoyer une image distincte du point lumineux. Nous avons vu dans la section précédente pourquoi la lumière est dispersée à la surface des corps, même les meilleurs réflecteurs, lorsqu'elle est hérissée d'aspérités; mais, d'un autre côté, il ne suffit pas de polir un corps pour qu'il réfléchisse la lumière régulièrement, soit que, pour certains corps, les aspérités qu'on ne peut détruire soient encore trop considérables pour que la dispersion des rayons n'ait pas lieu, soit que ces corps, en absorbant certaines portions de la lumière, lui fassent éprouver des modifications, et ne puissent plus réfléchir que certaines couleurs. Les corps les meilleurs ré-

flecteurs sont les liquides incolorés, tels que l'eau, l'alcool, la plupart des métaux, des verres, des cristaux lorsqu'ils sont polis, le mercure.

237. Nous savons déjà que la lumière réfléchie fait avec la surface réfléchissante l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence; c'est pourquoi, pour analyser les phénomènes de la réflexion, nous ne choisirons point le rayon perpendiculaire, car il doit être renvoyé dans la direction même du rayon incident, et ainsi se confond avec lui : nous ne choisirons pas non plus ceux qui sont presque horizontaux, à cause de l'incertitude de leur marche, mais nous observerons un de ceux qui tombent obliquement sur la surface réfléchissante. Faisant cette expérience dans une chambre obscure pour mieux apprécier les résultats, nous remarquerons alors les phénomènes suivans : les rayons qui parviendront obliquement à la surface d'une lame de verre, malgré sa transparence, seront en partie réfléchis, et, faisant l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence, projetteront l'image du corps lumineux dans une position qui dépendra de l'obliquité de la lame de verre; l'observateur, placé dans cette direction, verra le corps lumineux très brillant, et il lui paraîtra placé de l'autre côté de la lame de verre, précisément dans la direction du rayon réfléchi, et s'il peut juger des distances, à celle où il doit être en raison de la longueur du rayon brisé. D'un autre côté, le point de la surface réfléchissante, où tombent les rayons du corps lumineux, deviendra visible dans toutes les directions, mais avec une intensité très faible, si on la compare à celle de l'image réfléchie régulièrement; celle-ci en effet n'est que le résultat de la dispersion d'une portion de lumière, opérée indifféremment dans tous les sens, comme si le corps n'était pas poli. Enfin une autre partie de la lumière incidente pénètre dans

le verre; arrivée à la seconde surface, il s'en réfléchit une petite quantité qui se conduit alors comme celle réfléchie à la première surface, et le reste passe sans se réfléchir. Si nous substituons au verre une surface métallique non transparente, nous observerons des phénomènes analogues, c'est-à-dire qu'une partie de la lumière incidente sera réfléchie régulièrement, une autre sera dispersée, et enfin une troisième sera non plus transmise, mais absorbée, éteinte, ce que nous pourrons reconnaître à l'aide des moyens *photométriques*, c'est-à-dire qui mesurent l'intensité de la lumière, que les physiciens ont inventés, et sur lesquels nous aurons occasion de revenir.

238. Tels sont les phénomènes que la lumière présente, lorsqu'elle vient frapper une surface plane, phénomènes auxquels on peut facilement ramener en les décomposant, tous ceux souvent très compliqués qu'offre la réflexion de la lumière, soit dans certaines circonstances particulières, soit sur des surfaces de diverses formes. Ainsi d'abord, en jetant les yeux sur la *fig.* 61, on reconnaîtra que les objets vus par réflexion dans un miroir plan, comme les glaces, doivent conserver leurs formes, leurs dimensions, leurs couleurs, et paraître derrière la glace aussi loin qu'ils en sont par devant; on reconnaîtra de même, *fig.* 62, pourquoi les objets vus dans l'eau par réflexion paraissent renversés. Une analyse semblable de la marche des rayons nous fera prévoir les phénomènes que présentent les miroirs courbes ou sphériques de tout genre; car chaque point d'une surface courbe quelconque peut être considérée comme un plan placé dans la direction de la tangente en ce point, et par conséquent les rayons doivent s'y réfléchir en faisant l'angle d'incidence égal à l'angle de réflexion. Ainsi, sur un miroir concave, en vertu de la propriété des sections coniques, les

rayons venus d'un point très éloigné S, *fig.* 63, en sorte qu'on peut les regarder comme parallèles, doivent se réfléchir sur le miroir de façon à concourir en un même lieu F, qu'on appelle le *foyer;* ce foyer se trouve dans ce cas placé précisément à une distance égale de la surface et du centre du miroir, aussi l'appelle-t-on *foyer principal;* il jouit de la propriété de réunir tous les rayons parallèles tombés sur le miroir, et par conséquent fournit une image du corps lumineux beaucoup plus intense que vue directement. C'est en concentrant de la sorte les rayons solaires au foyer de vastes miroirs qu'on est parvenu à fondre les métaux les plus résistans, en un mot à obtenir une température beaucoup plus élevée que par le moyen de nos fourneaux les plus énergiques. Le foyer principal jouit encore de cette autre propriété, conséquence de la première, de rendre parallèles les rayons qui en émanent, ce dont on profite dans la confection des phares.

Toutes les fois que les rayons ne sont pas parallèles, la position du foyer doit varier en raison de la distance du corps lumineux, et c'est ce qui arrive en effet Ainsi on voit, *fig.* 64, où se trouvera le foyer des rayons émanés d'un objet S S′, placé au-delà du centre du miroir, et pourquoi cet objet vu par réflexion sur un écran paraîtra plus petit et renversé; on voit, *fig.* 65, pourquoi un objet placé en-deçà du foyer, vu également par réflexion, paraît droit, plus grand, et situé derrière le miroir.

239. Quant aux miroirs convexes, la même analyse fait sur-le-champ reconnaître leurs propriétés; on voit, *fig.* 66, qu'ils dispersent les rayons parallèles, comme s'ils émanaient du foyer principal F, et *fig.* 67, qu'un objet éloigné vu par réflexion sur un de ces miroirs, paraît placé au-delà, aux environs du foyer, de dimension plus

petite et droit. A mesure qu'on rapproche cet objet du miroir, la petite image s'en rapproche aussi en augmentant de dimension, jusqu'à ce qu'enfin elle coïncide avec la surface.

240. Les phénomènes que présentent toutes les autres sortes de miroirs se rapportent facilement à ceux-ci, il serait inutile de nous y arrêter; il nous resterait donc à indiquer les applications qu'on a faites des propriétés des miroirs pour rapprocher, grossir et éclairer les objets, mais elles se compliquent des effets des lentilles transparentes : ainsi l'explication des télescopes, des microscopes et autres instrumens d'optique trouvera mieux sa place après l'étude de la réfraction. Mais, avant de quitter ce sujet, nous devons mentionner quelques phénomènes remarquables de réflexion. C'est d'abord celui que présentent les glaces parallèles ou peu inclinées; on sait que les premières multiplient les objets pour ainsi dire à l'infini; la raison en est simple, c'est que l'image réfléchie dans chaque glace devient elle-même pour l'autre objet principal, et est par conséquent réfléchie comme le serait un objet réel placé à la même distance derrière la glace : il en est de même pour cette seconde image, et ainsi de suite; mais on conçoit que l'intensité de ces images va continuellement en décroissant. Encore un phénomène curieux de réflexion, c'est qu'on peut se voir en entier dans une glace qui n'a que la moitié de votre hauteur, ainsi que l'explique la *fig.* 68, et que daus une glace inclinée de 45 degrés, les objet horizontaux paraissent verticaux, *et vice versâ :* les *fig.* 69 et 70 en font voir la cause.

SECTION V.

DE LA RÉFRACTION DE LA LUMIÈRE, OU DE LA DIOPTRIQUE.

241. Nous avons examiné dans la section précédente ce qui arrive à la portion de lumière incidente qui se réfléchit à la surface des corps; suivons maintenant celle qui échappe à la réflexion et pénètre dans leur intérieur. Toutes les fois qu'un rayon de lumière pénètre obliquement d'un milieu dans un autre de nature ou de densité différente, il éprouve une déviation de la route en ligne droite qu'il parcourait; c'est ce phénomène qu'on appelle la *réfraction* de la lumière. Nous savons déjà que les différens milieux, en modifiant la vitesse, et par suite la longueur des ondulations lumineuses, sont la cause de cette déviation des rayons, laquelle a lieu en les rapprochant de la perpendiculaire, lorsqu'ils passent d'un milieu plus rare dans un milieu plus dense, et au contraire en les écartant, lorsqu'ils passent d'un milieu plus dense dans un milieu plus rare. Nous savons aussi que dans les milieux de densité variable comme l'air, les rayons sont continuellement infléchis, en sorte qu'ils suivent une ligne courbe.

Ces phénomènes de réfraction sont établis d'une manière irrécusable par une multitude d'expériences, dont quelques unes sont très familières, comme l'inflexion d'un bâton plongé obliquement dans l'eau, où l'on reconnaît que les rayons qui en émanent sont rapprochés de la perpendiculaire, comme aussi l'expérience suivante, qui prouve en outre que la lumière, en passant de l'eau dans l'air, est écartée de la normale; si l'on place une pièce de monnaie dans un vase à parois opaques,

fig. 71, l'œil en O ne pourra la voir, si le vase ne renferme que de l'air; mais si on remplace cet air par de l'eau, les rayons émanés de la pièce suivant la direction S C O, la rendront visible à l'observateur placé au même lieu.

242. L'étude plus exacte des phénomènes a fait reconnaître que le pouvoir réfringent des différens corps est très variable, et qu'il n'est, en raison de la densité, que dans un milieu homogène, car la nature chimique le modifie puissamment; ainsi le pouvoir réfringent de l'alcool, de l'huile, est plus fort que celui de l'eau, malgré que leur densité soit moindre. En général, on a remarqué que la réfraction était très forte dans les corps combustibles, ou composés d'élémens combustibles, et c'est d'après cette observation que l'illustre Newton avait annoncé que le diamant et l'eau, dont le pouvoir réfringent est considérable, renfermaient des substances combustibles, ce que la chimie a vérifié depuis en les décomposant. Mais on ignore encore quelle est la cause de cet indice d'analogie.

243. Avant de passer à l'étude de la réfraction, lorsque la lumière passe d'un milieu dans un autre, expliquons quelques phénomènes curieux dus à la réfraction simple, ou à celle d'un même milieu de densité inégale. Le crépuscule, l'allongement des astres à l'horizon, leur apparition, ainsi que celle d'un vaisseau, lorsqu'ils sont encore réellement au-dessous de cet horizon, l'estimation exagérée de la hauteur des corps, sont des phénomènes de réfraction simple, ainsi que l'expliquent les *fig.* 72, 73 et 60. Celui du mirage, qui se présente dans plusieurs circonstances, mais spécialement dans les plaines sablonneuses et arides, comme celles d'Égypte, lorsqu'elles sont frappées des rayons du soleil, est produit par la réfraction différente opérée par des couches d'air de densité

inégale. Dans ce phénomène, qui n'a lieu qu'aux heures où le soleil a fortement échauffé le sol, et par conséquent dilaté la couche d'air qui repose sur lui, les objets éloignés paraissent entièrement environnés d'eau : la *fig.* 74 en fera facilement sentir la cause. En effet, les objets d'une part sont vus directement par le rayon A B, et paraissent dans leur véritable position, mais les rayons dirigés vers le sol, pénétrant bientôt dans une couche d'air moins dense, y sont réfractés en s'écartant de la perpendiculaire, de sorte qu'ils pourront, comme le rayon S C, parvenir à l'observateur : ainsi celui-ci verra une seconde image de l'objet, mais elle lui paraîtra renversée et entourée de l'image également réfractée du ciel, ce qui imitera parfaitement la réflexion des objets à la surface des eaux. Le docteur Wollaston a démontré cette explication en réalisant le phénomène sur des barres de fer fortement chauffées, et en faisant passer un rayon dans un mélange de liquides de densité variable.

244. Tant que la lumière parcourt un espace de densité et de nature homogène, elle suit une ligne droite, mais lorsqu'elle passe d'un milieu dans un autre, elle se dévie de sa route primitive pour s'approcher ou s'éloigner de la perpendiculaire. Ainsi la lumière, en passant de l'air dans l'eau ou dans le verre, se rapproche de la normale, et au contraire s'en éloigne en passant de l'eau ou du verre dans l'air ; en sorte qu'après ces deux déviations semblables, les rayons sont encore parallèles. Telle est la marche de la lumière dans les corps transparens à surfaces parallèles ; mais il n'en est plus ainsi lorsque les surfaces sont différentes, et il se présente alors un phénomène analogue à ce qui se passe dans un prisme, forme à laquelle on peut en effet toujours ramener la figure des corps,

ainsi que nous allons le voir dans l'étude des lentilles.

On sait que l'effet d'un prisme de verre ou d'eau est de dévier les rayons vers la base du prisme opposée à l'angle aigu, ainsi qu'on le voit *fig.* 75, pour les rayons obliques, et *fig.* 76 pour les perpendiculaires. Cette propriété donne l'explication de tous les phénomènes de réunion ou de dispersion de la lumière, par le moyen des lentilles ou des verres de toute forme : phénomènes qui se rapprochent d'ailleurs beaucoup de ceux des miroirs réflecteurs, et sur lesquels conséquemment nous ne ferons que glisser légèrement. Ainsi une lentille convexe, *fig.* 77, rend parallèles les rayons qui émanent de son foyer, réunit à ce foyer principal les rayons parallèles, et en d'autres lieux ceux qui font un angle sensible en arrivant à sa surface, parce qu'une lentille convexe n'est autre chose qu'un assemblage infini de prismes, dont la base est tournée vers le milieu de la lentille, comme le montre la *fig.* 78, où cette lentille est décomposée en prismes. De même les lentilles concaves, *fig.* 79, agissent en sens contraire des précédentes, parce que les prismes y sont tournés en sens opposés. Les verres de toute autre forme participent plus ou moins des propriétés de ceux-ci, selon qu'ils se rapprochent ou s'éloigent de la convexité ou de la concavité.

245. C'est sur ces principes que repose la construction de l'œil, de même que celle de tous les instrumens d'optique, dont nous renvoyons l'étude et la description après celles de l'organe de la vision, dont ils ne sont que le complément et l'auxiliaire, quelquefois aussi le correctif. Dans cette section, achevons d'analyser les phénomènes des rayons réfractés.

246. Dans l'exposé de la théorie de la lumière, nous avons vu que les rayons des diverses couleurs

n'ayant pas la même vitesse d'ondulation, ne sont pas réfractés avec la même énergie. Ainsi, en passant d'un milieu dans un autre, et surtout au travers d'un prisme dont le pouvoir réfringent est beaucoup plus considérable, la lumière blanche est décomposée, et à sa sortie le faisceau de lumière présente une image allongée et de différentes couleurs, image que nous étudierons tout à l'heure. Si cet effet n'est pas toujours sensible, c'est que la réfraction est trop peu considérable, et que les rayons de diverses couleurs, trop peu écartés les uns des autres, continuent à se superposer, et ainsi donnent la sensation de la lumière blanche. Les lentilles, pouvant être considérées comme un assemblage de prismes, produiront la même dispersion de la lumière toutes les fois qu'elles la dévieront fortement de sa route, d'où l'on voit que l'image qu'elles donneront sera confuse et colorée. Newton avait cru ce vice irrémédiable; mais Dollond, physicien anglais, ayant reconnu que certaines substances, avec un pouvoir réfringent inégal, dispersaient également la lumière, conçut la possibilité d'obtenir des images considérablement déviées, et cependant incolores. Tel est l'*acromatisme* et le principe sur lequel repose la construction des lunettes ou plutôt des verres *acromatiques*, dans lesquels on établit ordinairement la compensation par la réunion du verre ordinaire et du cristal où il entre du plomb, le crown-glass et le flint-glass.

247. Nous savons qu'à chaque surface de séparation de deux milieux réfringens, il s'opère une réflexion et une réfraction; ceci va nous donner l'explication d'un des phénomènes d'optique naturels des plus curieux : nous voulons parler de l'arc-en-ciel. Il est inutile de décrire dans quelles circonstances le phénomène se produit; chacun a pu remarquer que c'est lorsqu'il pleut que l'arc

est diamétralement opposé au soleil, et l'observateur placé entre les deux; les rayons du soleil, en pénétrant à travers des gouttes d'eau, y éprouvent, comme le représente la *fig.* 80, plusieurs réfractions et plusieurs réflexions. Il en résulte qu'ils pourront parvenir en différens points o, o′, o″, o‴; mais, à cause des réfractions, ils y parviendront disséminés, et par conséquent colorés. Ces réflexions et ces réfractions, pouvant se continuer à l'infini, plusieurs arcs pourront paraître l'un au-dessus de l'autre, mais en diminuant continuellement d'intensité, puisqu'une portion de la lumière se perd à chaque réflexion, et dans des situations différentes, puisque les rayons qui en donneront l'image n'auront pas suivi le même chemin. Le plus ordinairement on ne voit que deux arcs-en-ciel, l'un intérieur, plus brillant, puisque les rayons n'ont éprouvé qu'une réflexion, et où les rayons rouges sont en dehors; l'autre plus faible, et où le rouge est en dedans. La *fig.* 80 fait suivre la marche des rayons dans les globules, et montre les réflexions et les réfractions qu'ils éprouvent. Le calcul fait voir qu'il n'y a que les rayons qui traversent d'une certaine manière les gouttes d'eau qui peuvent ainsi parvenir convenablement à l'observateur, et que tous les autres sont perdus pour lui.

SECTION VI.

DE LA COLORATION DES CORPS, OU DE LA CHROMATIQUE.

248. Nous venons de voir que la lumière blanche éprouve par la réfraction une modification en vertu de laquelle les différentes couleurs qui la composent se montrent séparées, et ce phénomène est surtout apparent lorsqu'on fait passer la lu-

mière à travers un prisme. On désigne l'image dispersée et irisée du soleil, qu'on obtient alors, sous le nom de *spectre solaire*. Nous savons aussi que, dans l'acte de la réflexion, les corps peuvent absorber, éteindre, rendre invisibles certains rayons, tandis qu'ils renvoient les autres; telle paraît être la cause de la coloration des corps, dont la réflexion des anneaux colorés et des lames minces nous a déjà donné une idée. L'ensemble de ces connaissances forme la science de la *chromatique*, ou des couleurs, à l'étude de laquelle nous allons consacrer cette section.

Lorsqu'on fait passer un faisceau de lumière à travers un prisme réfringent, et qu'on le reçoit à une certaine distance après la sortie du prisme, on s'aperçoit, par l'image du corps lumineux qu'on obtient de la sorte, que la lumière non seulement a été déviée de sa route primitive conformément aux lois de la réfraction, mais encore à cause de l'inégale réfrangibilité des rayons de diverses couleurs dont elle se compose, qu'elle a été décomposée et dispersée. Le spectre lumineux qu'on produit ainsi, et qui n'est autre chose que l'image du soleil allongée dans le sens de la réfraction par l'inégale réfrangibilité des rayons, se présente alors sous une forme oblongue, et teint des nuances les plus vives de l'arc-en-ciel. C'est en appliquant à cette image colorée différens moyens de décomposition très exacts; c'est en recevant à part les diverses portions du spectre, en les faisant passer par des fentes très étroites ou des trous très petits, que Newton et d'autres physiciens après lui sont parvenus à fixer les nuances et les propriétés des différentes parties du spectre.

249. On compte universellement sept couleurs principales dans le spectre, malgré qu'il renferme réellement toutes les nuances possibles, tant par les couleurs intermédiaires entre ces espèces pri-

mitives que par leur variétés et leur mélange en toute proportion. Mais, dans l'impossibilité d'analyser toutes les teintes, on a dû les ramener à quelques types principaux dont on regarde les rayons comme homogènes, malgré qu'ils soient eux-mêmes composés d'un nombre infini de variétés; d'où l'on voit cependant que la lumière la plus homogène est celle que fournit le milieu de chacune des couleurs principales. Certains physiciens ont soutenu qu'il n'y avait que cinq, et même que trois sortes de couleurs différentes, et que c'était leur mélange seul qui produisait toutes les nuances possibles; sans nier que le mélange de diverses couleurs est susceptible de composer une autre nuance, résultat de la combinaison de ces couleurs, ce qui est démontré par une foule d'expériences, telles que le mélange de diverses poudres, de divers liquides de couleurs dissemblables, et même par la lumière blanche, qui n'est que le mélange de toutes les nuances, on peut dire que cette explication des couleurs des corps, au moyen d'un aussi petit nombre de couleurs réellement différentes, est détruite par l'analyse plus exacte du spectre, et est contraire aussi bien à l'explication de Newton dans la théorie de l'émission, qu'à celle que nous avons donnée ci-dessus dans la théorie des ondulations, où l'on voit également que toutes les nuances passent de l'une à l'autre par des dégradations insensibles, et que, dans leur séparation imparfaite, nous ne pouvons accuser que l'imperfection de nos moyens de décomposition, ce qui est d'ailleurs démontré par les phénomènes de la diffraction et des anneaux colorés, et expliqué par la théorie des interférences.

250. Les sept couleurs principales admises par Newton dans l'image du spectre sont placées de la manière suivante : à partir de la partie la moins réfractée, on trouve d'abord le rouge, puis l'o-

rangé, le jaune, le vert, le bleu, l'indigo, et enfin le violet, qui forme l'extrémité du spectre visible la plus déviée de sa route. En mesurant le plus exactement possible l'espace occupé par chacune de ces couleurs, on reconnaît qu'il n'est point égal, ainsi qu'on le voit dans la *fig.* 81, qui fait connaître la nuance et la largeur de chaque espèce de rayons. On trouve ainsi ce résultat remarquable, que ces espaces, comparés entre eux, sont précisément dans le même rapport que les tons de la gamme musicale, et que le spectre peut être comparé à une corde vibrante qui donne les sons de la gamme, par son raccourcissement selon les mêmes nombres; de plus, l'analogie la plus grande paraît se rencontrer entre les rayons rouges et les rayons violets, ce qui faisait comparer à Newton lui-même le retour des teintes à la consonnance des octaves, nouveaux faits confirmatifs de la théorie que nous avons adoptée.

251. Au reste, le spectre ne renferme pas seulement des rayons colorifiques, il manifeste des effets de chaleur et des actions chimiques, qui prouvent qu'il est aussi composé de rayons calorifiques et de rayons chimiques, ou plutôt que les ondes, de diverse longueur, possèdent ces propriétés inégalement, tantôt isolées, tantôt réunies à la propriété colorifique; car l'étude attentive du spectre a fait connaître qu'au-delà même des deux extrémités visibles il existe des rayons obscurs susceptibles de développer de la chaleur ou de produire certains phénomènes de combinaison. Herschell le premier a même annoncé que c'était au-delà de la portion visible du spectre que ces rayons manifestaient leur action avec le plus d'intensité, et si tous les physiciens ne sont pas d'accord sur ce point, du moins paraît-il démontré que le centre de ces rayons particuliers est placé à l'extrémité même du spectre. C'est ainsi qu'on a

reconnu, en plaçant un thermomètre fort sensible dans diverses portions du spectre, que les rayons calorifiques, qui paraissent les moins réfrangibles, vont continuellement en décroissant d'intensité, à partir d'un point peu éloigné de l'extrémité rouge jusque environ au vert, où ils sont tout-à-fait inappréciables; de même, en exposant au spectre diverses combinaisons chimiques, et notamment le muriate d'argent, on a reconnu que les rayons chimiques qui paraissent les plus réfrangibles sont disposés en quantité décroissante, à partir de l'extrémité violette jusqu'au jaune, où ils ne manifestent plus aucune action. MM. Laroche et Bérard ont fait un grand nombre de recherches et d'expériences sur les actions diverses du spectre, et ont confirmé les résultats que nous venons d'énoncer. M. Arago, par des expériences toutes récentes, a prouvé que les rayons chimiques étaient soumis, comme les rayons colorifiques, aux interférences, puisqu'en faisant tomber ces rayons sur du muriate d'argent, dans les conditions nécessaires, il a obtenu des bandes alternativement noires et blanches. Ainsi, là où l'on devait s'attendre à une décomposition double, l'effet était nul. Cette expérience démontre d'une manière décisive l'identité de tous les rayons qui composent le spectre et de la cause qui détermine leur action; elle prouve qu'ils ne diffèrent entre eux que par leur vitesse et leur longueur d'ondulation, elle prouve enfin l'identité de la chaleur et de la lumière.

252. Nous venons de voir qu'en décomposant la lumière blanche, au moyen d'un prisme, on obtient sept couleurs principales, et ce phénomène nous indique déjà qu'elle est le résultat du mélange de ces diverses couleurs; mais on peut le prouver directement en faisant tomber au même lieu, par le moyen de prismes diversement inclinés, ces différens rayons, ou bien en mêlant des

matières qui renvoient ces couleurs, ou bien encore en collant sur un carton des morceaux de papier peints des diverses couleurs prismatiques; en le faisant tourner rapidement, la sensation répétée de ces diverses couleurs produira l'impression du blanc. Il résulte donc de ces phénomènes que la lumière blanche, comme celle du soleil, d'une bougie, est un mélange de rayons hétérogènes, inégalement réfrangibles, et susceptibles de nous donner la sensation de diverses couleurs, lorsqu'ils sont séparés. On conçoit, en effet, comment l'absence d'une ou de plusieurs de ces couleurs, en partie ou en totalité, modifiera nécessairement la teinte totale du surplus, et ainsi produira des nuances variées à l'infini.

253. Ceci nous explique complétement la coloration des corps, en se rappelant, pour les couleurs réfléchies, ce que nous avons dit en traitant des lames minces et des anneaux colorés. En effet, les couleurs irisées, comme celles de la nacre de perle, des boules de savon, les couleurs chatoyantes, comme celles de la queue du paon, du plumage d'un grand nombre d'oiseaux, sont produites par les différens rayons, réfléchis sous diverses inclinaisons relatives à l'œil de l'observateur. On sait que dans certains corps les couleurs vues par réflexion et par transmission ne sont pas les mêmes. Ainsi les dissolutions de divers bois de teinture paraîtront, par exemple, bleues par réflexion, jaunes ou rouges par transmission. On voit que ces corps demi-transparens ont la propriété de réfléchir les rayons bleus, et de laisser passer les autres en tout ou en partie. Lorsqu'ils les laissent passer en totalité, ce qui est fort rare, ces couleurs vues par transmission sont complémentaires de celles vues par réflexion, ainsi qu'on devait s'y attendre; lorsque la transmission n'est que partielle, la couleur dépend de la nature des

corps, tous n'absorbant pas les mêmes rayons, et aussi de sa transparence et de son épaisseur. Ainsi, les dissolutions dont nous venons de parler pourront paraître, dans un verre conique, rouges en haut et jaunes en bas, etc.

254. L'opacité complète n'est qu'un degré de plus de cette propriété, et elle dépend de la nature du corps. Ainsi l'or réduit en lames minces devient transparent, et vu par transmission paraît vert. Ici il y a absorption partielle; car le vert n'est point complémentaire du jaune, couleur de l'or par réflexion; mais bientôt l'opacité de ce corps sera complète, parce qu'aux rayons qu'il absorbait déjà il ajoutera ceux qu'il laissait passer : il ne sera plus alors visible que par réflexion. Toutes les fois que les rayons transmis sont complémentaires de ceux réfléchis, on en retrouve les nuances dans les anneaux colorés avec la dernière exactitude. Un autre résultat encore plus important et plus remarquable, c'est que dans tous les changemens de couleurs qui se font graduellement, comme dans les composés chimiques, dans l'acte de la végétation, on retrouve l'ordre ascendant ou descendant présenté par les anneaux colorés et le passage successif de l'un à l'autre. Ainsi à l'automne, lorsque le commencement de la décomposition des feuilles annonce leur chute prochaine, du vert du troisième ordre elles passent successivement dans l'ordre des anneaux, au jaune, à l'orangé et au rougeâtre. On reconnaît là l'effet d'une action qui se modifie petit à petit dans le même sens.

L'opacité des corps dépend principalement de leur épaisseur et de leur nature, mais elle tient souvent aussi à l'interposition des molécules d'un autre corps. Ainsi l'eau agitée, battue, écumante, comme lorsqu'elle se brise sur les récifs ou les cascades, paraît blanche, mais non transparente,

à cause de l'air qui s'est interposé entre ces particules; il en est de même du verre pilé, auquel on rend la transparence en remplaçant par de l'eau l'air qui occupait ses interstices; la même chose arrive à l'hydrophane. Un corps qui réfléchit toute la lumière paraît blanc par réflexion, opaque et noir par transmission ou réfraction; celui qui réfracte et laisse passer toute la lumière, paraît opaque et noir par réflexion, transparent et blanc par réfraction. Ces effets ne sont que partiels, l'apparence des corps, qui en est la conséquence, est par là modifiée, et telle est la cause des couleurs.

SECTION VII.

DE LA VISION.

255. La perception des objets, produite par l'action de la lumière, s'appelle *vision*, et l'œil est l'organe au moyen duquel cette impression nous est communiquée. C'est un véritable instrument d'optique qui concentre les rayons venus des objets, pour en projeter l'image à l'endroit où les houppes nerveuses en reçoivent la sensation; mais cet organe réunit toutes les conditions nécessaires pour s'approprier aux distances et détruire les causes d'erreur, telles que les aberrations de réfrangibilité et de sphéricité, à un bien plus haut degré de perfection que nous ne pouvons le faire dans nos instrumens, et est ainsi incomparablement plus parfait.

256. L'œil, chez l'homme et la plupart des animaux des premières classes, protégé à l'extérieur par des poils nommés *cils* et *sourcils*, et par des tégumens très délicats et très contractiles nommés *paupières*, est placé dans une cavité osseuse nommée l'*orbite;* il forme une masse globuleuse, *fig.* 82, renfermant trois milieux différens par

leur forme et leur pouvoir réfringent, et faisant l'office de lentilles convergentes; elle est composée des parties suivantes : la membrane la plus extérieure est la *sclérotique* ou *cornée opaque*, dont la portion antérieure, et plus convexe, appelée *cornée transparente*, est diaphane et amincie, imitant un verre de montre. La portion adjacente à la cornée transparente est blanche, et communément appelée le *blanc de l'œil;* toute cette partie est protégée par la peau qui s'étend sur tout le globe de l'œil, mais y est transparente et d'une minceur extrême. La seconde membrane, qui tapisse l'intérieur de la sclérotique appelée la *choroïde*, et qui est noire intérieurement, de façon à former chambre obscure, s'étend sous la cornée transparente et compose cette partie colorée de l'œil appelée l'*iris*, qui est percée vers son milieu d'un trou, nommé la *pupille* ou la *prunelle*, par lequel les rayons pénètrent dans l'œil. Ce trou peut être agrandi ou rétréci au moyen des fibres contractiles qui composent l'iris, et alors permet l'entrée d'un plus ou moins grand nombre de rayons. C'est ainsi que la pupille s'agrandit dans l'obscurité, se rétrécit lorsque l'éclat de la lumière est très vif; et c'est par cette raison qu'en passant de l'obscurité au grand jour, nous sommes éblouis, et quand nous passons du grand jour à l'obscurité, nous ne voyons pas tant que notre pupille ne s'est pas élargie de façon à recevoir une plus grande quantité de rayons. Sous l'iris est une prolongation de la choroïde qui soutient le cristallin, c'est le *ligament ciliaire*. Au fond de la cavité de l'œil, mais non exactement sur le prolongement de l'axe de la pupille, est une continuation des parois intérieures : c'est par là que pénètre le *nerf optique*, dont la partie médullaire, en se ramifiant à l'infini, tapisse l'intérieur de la choroïde et forme la *rétine;* les *houppes nerveuses*, infiniment petites,

dont elle est composée, sont les organes qui reçoivent la sensation, et ils la communiquent au cerveau par le nerf optique qui va se perdre dans la substance médullaire. Quant à l'intérieur de ces membranes, il est occupé d'abord par le *cristallin*, attaché au ligament ciliaire; c'est un corps consistant, transparent, ayant la forme d'une lentille convergente, mais plus convexe en dedans qu'en dehors. La cavité entre le cristallin et la cornée est occupée par l'*humeur aqueuse*, liquide assez semblable à l'eau; tout le reste derrière le cristallin, et qui est la plus grande partie de la cavité de l'œil, est rempli par l'*humeur vitrée*, liquide visqueux, qui ressemble à du verre fondu.

257. L'œil des animaux est en général formé sur le même plan, mais cependant offre souvent de grandes différences, dont les unes sont évidemment appropriées aux habitudes de l'animal, ou la lui ont fait contracter, mais dont les autres sont chargées de fonctions qui nous échappent. Certains animaux voient parfaitement dans ce qui est pour nous l'obscurité la plus complète, sans doute, comme nous l'avons déjà indiqué, parce que leurs organes peuvent percevoir des rayons qui ne produisent nulle impression sur les nôtres. C'est particulièrement chez les oiseaux que l'œil paraît avoir été doué de la plus grande puissance; chez les poissons, il a été modifié convenablement au milieu qu'ils habitent; leur cristallin est sphérique. Enfin un mode de vision tout particulier se rencontre chez les insectes, lesquels ont tantôt des yeux simples et lisses, comme les mouches, tantôt des yeux multiples, composés de facettes pour ainsi dire innombrables, puisqu'on en a reconnu environ dix-sept mille sur l'œil des papillons. Ne doit-on pas penser que chez ces êtres, qui ont toujours les yeux fixes, l'organe sensitif est placé à la surface même de l'appareil de la vision, et

perçoit directement les rayons? Mais nous devons laisser à l'histoire naturelle le curieux exposé des phénomènes de la vision chez les animaux; avertissons seulement qu'un très grand nombre d'entre eux sont privés de ces organes, et revenons maintenant à leurs fonctions chez l'homme.

258. On a pu voir, par la description que nous avons faite de l'œil, qu'il remplit l'office d'une chambre noire pourvue d'une lentille, et dont la rétine est le plan qui reçoit l'image des objets; c'est ce qu'on peut vérifier en regardant un œil en partie dépouillé de la sclérotique; on verra les objets, placés à certaine distance, peindre leur image avec toutes ses couleurs, en petit et renversée. Ceci peut paraître extraordinaire, puisque nous voyons les corps droits; mais il ne faut pas confondre l'image avec la sensation. Nous rapportons l'idée de la position des objets à la direction des rayons, comme nous jugeons leur grandeur et leur distance par leur croisement; mais, sous ce dernier rapport, comme sous plusieurs autres, notre jugement est influencé par l'habitude de notre expérience, et à notre insu. Ainsi un objet vu de très loin, mais à côté d'un autre dont nous connaissons la grandeur, nous paraîtra aussi grand que s'il était beaucoup plus près, malgré que l'angle qu'il sous-tend dans notre œil soit bien moindre. Une autre singularité remarquable de la vision, c'est que les objets ne nous paraissent pas doubles, malgré que nous les regardions avec les deux yeux; il paraît que les différentes portions de la rétine, selon notre habitude, portent des sensations qui se confondent, et, par suite de cette habitude, nous dirigeons constamment nos yeux de façon à avoir une sensation unique et seulement plus intense; voilà pourquoi les personnes qui, par vice d'organisation ou par habitude, ne reçoivent pas cette sensation comme à l'ordinaire,

louchent en plaçant leurs yeux de façon à ne recevoir qu'une sensation : aussi ce défaut est-il beaucoup plus commun qu'on ne pense.

259. Un grand nombre d'observations prouvent que certaines personnes ne voient pas toutes les couleurs, ou ne les voient pas comme tout le monde : le poète Colardeau ne distinguait pas le rouge, et le célèbre chimiste M. Dalton a le même défaut dans la vision : cela semble prouver que ce ne sont point les mêmes houppes nerveuses qui donnent la sensation de toutes les couleurs. D'autres observations journalières conduisent au même résultat, en prouvant que l'action de la lumière peut fatiguer les houppes nerveuses par son éclat ; car toutes les fois qu'on a regardé un corps vivement coloré, lorsqu'on détourne la vue, on n'a plus la sensation que des couleurs complémentaires de la première, comme si les nerfs qui la fournissaient étaient fatigués, et momentanément incapables de la transmettre. On sait aussi que l'action de la lumière sur l'œil n'est point instantanée ; un boulet de canon est invisible ; un corps incandescent qui tourne rapidement nous paraît un cercle embrasé, etc.

260. Nous avons vu que l'œil est composé de plusieurs milieux réfringens ; cette combinaison, ainsi que les formes diverses de ces milieux et de leur surface, ont pour but de détruire deux défauts que nous rencontrons dans nos instrumens ; l'un est l'*aberration de sphéricité ;* il consiste en ce que les bords d'une lentille ne font point converger exactement les rayons au même foyer que les parties centrales ; la nature y a remédié par un changement de courbure ou de densité : l'autre est l'*aberration de réfrangibilité*, qui colore les objets en les dispersant comme le prisme : la nature y a remédié par un véritable achromatisme. L'œil possède encore l'important avantage de se

prêter à la vision des objets inégalement distans avec beaucoup plus de perfection, et dans une bien plus grande étendue que nos instrumens. On ignore à peu près par quel mécanisme; il paraît cependant que c'est par le changement de courbure du cristallin. Quant à la quantité inégale de rayons admise dans l'œil, nous avons vu qu'elle était facilitée par l'agrandissement ou le rétrécissement de la pupille.

261. Pour percevoir une image distincte des objets, il faut que les rayons qu'ils envoient convergent sur la rétine en un point sans dimension, autrement ils se croisent, se mêlent, et les houppes nerveuses, frappées de plusieurs images, n'en perçoivent aucune. Le lieu ordinaire de la vision distincte est environ à huit pouces de l'œil, et toutes les fois que l'objet est plus près ou plus loin, les rayons qu'il envoie sont trop convergens ou trop divergens, et la vision est plus ou moins confuse. Un grand nombre d'yeux ont ce défaut de faire toujours converger les rayons trop ou pas assez, de sorte que la vision n'est jamais distincte. On remédie à ces défauts par des lentilles de verre. Ceux qui ont la vue courte, chez lesquels le cristallin est trop convergent, et par conséquent où les rayons se réunissent dans l'humeur vitrée, avant la rétine, sont appelés *myopes* : on corrige le défaut de leur vue en reculant le point de convergence au moyen d'une lentille concave qui disperse les rayons. Lorsque le cristallin est trop plat, comme chez la plupart des vieillards qu'on appelle alors *presbytes* (car il paraît s'aplatir avec l'âge), les rayons, à la distance de la vision ordinaire, ne se réunissent que derrière la rétine : dans ce cas on ne peut voir distinctement que les objets éloignés, à moins qu'on ne place devant cet œil une lentille convexe, laquelle commence à faire converger les rayons. Ces lentilles sont sujettes au

défaut de l'aberration de sphéricité, en sorte que le champ de la vision est très restreint; mais M. Wollaston y a remédié au moyen de verres convexes d'un côté et concaves de l'autre : on les nomme lunettes *périscopiques;* leur construction exige les plus grands soins.

SECTION VIII.

DES INSTRUMENS D'OPTIQUE.

262. Donnons maintenant une idée des principaux instrumens d'optique, qui ne sont que l'application et le développement des propriétés des lentilles et des miroirs; tous ces instrumens, même les plus composés, peuvent être considérés comme essentiellement formés de deux verres, ou d'un verre et d'un miroir; l'un reçoit la lumière des objets et la concentre en un foyer; c'est *l'objectif :* l'autre se place près de l'œil, et sert à regarder l'image formée par le premier; c'est *l'oculaire.*

Pour donner à ces instrumens plus de perfection, on les complique le plus souvent d'un plus grand nombre de verres, on les dispose dans un tuyau formant chambre noire, afin d'absorber les rayons obliques; on les partage même dans ce but par des diaphragmes opaques, qui ne laissent passer que les rayons voisins de l'axe; enfin on conserve la possibilité de faire glisser les pièces de l'instrument les unes sur les autres, afin de rapprocher ou d'éloigner les verres, et par conséquent d'obtenir des images distinctes d'objets placés à diverses distances. Les instrumens d'optique les plus utiles sont les microscopes et les télescopes, ou lunettes astronomiques, nautiques, terrestres, de spectacle, etc. Les premières servent à regarder les petits objets de fort près, et cependant avec

netteté, ce qui amplifie beaucoup leurs dimensions : les seconds sont destinés à présenter les objets éloignés sous un plus grand angle qu'ils ne le font à l'œil nu.

263. Une lentille convexe, au foyer de laquelle on place un petit objet, et qui, en rendant les rayons qui en émanent presque parallèles, permet de voir cet objet nettement à une bien plus petite distance que celle de la vision distincte, est un véritable microscope; on l'appelle *loupe*, ou *microscope simple*. La confusion produite par les aberrations, dès qu'on se sert d'une lentille d'un foyer un peu court, limite beaucoup l'usage de cet instrument, qui ne permet que des grossissemens peu considérables : c'est ce qui a fait construire les microscopes composés, qui sont formés d'un assemblage de verres convexes : on les complique quelquefois d'un ou plusieurs verres intermédiaires, d'après l'invention de Ramsden et de Campani, pour achromatiser les objets, le moyen que nous avons indiqué plus haut étant impraticable pour des lentilles d'un aussi court foyer. Dans le microscope composé, *fig.* 83, on place l'objet un peu au-delà de l'objectif A B; les rayons qui en partent iraient en peindre une image renversée en A′ B′, mais, arrêtés par la seconde lentille, l'image se forme en A″ B″; c'est cette image qui devient l'objet de la vision; on la regarde avec une loupe, et elle paraît en A‴ B‴ très amplifiée. Il est nécessaire d'éclairer fortement l'objet réel à l'aide d'un miroir réflecteur, pour qu'il soit encore visible après les nombreuses extinctions de lumières opérées par les lentilles. C'est par ces moyens qu'on est parvenu à grossir les objets vraiment d'une manière prodigieuse, et à découvrir un monde tout nouveau.

264. Les télescopes, ou lunettes, ont conduit à des résultats non moins nouveaux et encore plus

importans, en nous permettant de porter un œil scrutateur sur la marche, l'arrangement, l'organisation des mondes, en nous faisant pénétrer dans l'immensité de l'espace, en multipliant à l'infini les astres qui nous entourent. On ne sait pas positivement quel fut le premier inventeur de ces instrumens, mais Galilée est celui qui en a construit d'abord de véritablement utiles. Il en existe de plusieurs sortes; ceux qu'on appelle *dioptriques* sont fondés, comme les microscopes, sur la convergence des rayons dans les lentilles; c'est absolument le même appareil, si ce n'est que l'objectif est plus grand, et que les rayons viennent d'un objet éloigné : du reste, on y multiplie également les verres, tant pour augmenter leur effet que pour détruire l'aberration de réfrangibilité. On peut en outre y placer un objectif achromatique, c'est-à-dire composé de deux verres différens. Ces instrumens portent plus spécialement le nom de *lunettes*. Autrefois ils ne servaient guère que pour les objets terrestres, et on les nommait *longue-vues*, *lunettes d'approche*, *lunettes d'opéra*, *lunettes nautiques;* mais maintenant on en construit qui ont jusqu'à trente-deux pieds, et par la combinaison parfaite des verres, on est parvenu à leur faire produire des effets aussi extraordinaires qu'aux plus grands télescopes, et avec beaucoup plus de précision et de netteté. Pour réunir l'avantage de mesurer exactement le diamètre des objets que l'on observe, on y ajoute toujours des *micromètres;* ce sont des instrumens très délicats, très compliqués, qui, au moyen d'un fil fixe et d'un fil mobile, donne l'angle que sous-tend un objet avec la dernière précision.

265. Les vrais télescopes sont des instrumens *catoptriques* ou plutôt *catadioptriques*, c'est-à-dire qui sont basés sur les principes de la réflexion et de la réfraction de la lumière, et renferment des miroirs

et des verres. Il en est de plusieurs sortes. Les principaux sont les suivans : celui de Grégori, *fig.* 84, dans lequel les rayons concentrés au foyer d'un miroir métallique A B, sont renvoyés par un petit miroir *f* légèrement concave, placé un peu au-delà de ce foyer, vers l'œil en O, armé d'une lentille convergente, et situé derrière le grand miroir, qui est en son centre percé d'un trou. On voit que, dans cet instrument, une partie du champ embrassé par le télescope est cachée par le petit miroir. Il en est de même dans celui de Cassegrin, qui ne présente d'autre différence, si ce n'est que le petit miroir, au lieu d'être concave, est convexe, et placé un peu en avant du foyer : il a l'avantage de cacher moins d'espace, et surtout de diminuer le croisement des rayons, croisement dans lequel il s'opère toujours une destruction de lumière par les interférences insensibles. Le télescope de Newton, *fig.* 85, produit le même résultat, en rejetant les rayons de côté au moyen d'un miroir plan et incliné : on observe alors l'image de l'objet sur le côté de l'instrument, et avec une loupe. Enfin, dans le télescope d'Herschell, qui paraît dû à Lemaire, *fig.* 86, les rayons sont reçus de côté sur le miroir concave, et par conséquent renvoyés hors du champ du télescope en O, où ils se concentrent, et où l'on observe l'image avec une loupe : il a l'avantage d'éviter une réflexion, et de ne cacher aucune partie de l'espace que l'instrument peut embrasser. Herschell en a construit de trois pieds de diamètre et de quarante de long, avec lesquels il a fait dans le ciel les découvertes les plus curieuses. Le grossissement qu'ils opèrent est estimé à plus de six mille fois le volume de l'objet. (1)

---

(1) *Voyez* les nombreux Mémoires de ce savant, in-

266. On a composé une foule d'instrumens d'optique de tout genre, dans un but utile ou agréable, mais qu'on ne peut comparer pour leurs applications à ceux dont nous venons de parler; cependant il en est quelques uns dont il est bon de connaître le mécanisme et l'usage.

La *chambre noire* est un appareil dans lequel un objectif, placé à une petite ouverture, apporte l'image des objets extérieurs renversée et de petite dimension, lorsqu'ils sont éloignés : on peut la redresser au moyen d'un miroir, comme dans la *fig.* 87, et la recevoir sur un carton. Cet appareil portatif, mais embarrassant, sert pour le dessin des paysages. Un autre appareil, peut-être plus commode, est la *camera lucida*, due à M. Wollaston, *fig.* 88 : l'image des objets est apportée par un prisme. Si on le dispose de façon que la moitié de l'œil seulement reçoive cette image, on verra en même temps un carton placé au-dessous dans la direction de la vue, et c'est sur lui que l'image paraîtra se peindre : rien n'est donc plus facile que de l'y copier avec un crayon ou un pinceau.

267. Lorsque dans une chambre noire, au lieu de recevoir l'image des objets éloignés, on place près de l'objectif un objet fortement éclairé, on obtient alors dans la chambre une image dont on fait varier les dimensions à volonté, en approchant l'objet de la lentille, et reculant le carton qui reçoit son image : c'est ce qu'on appelle un *mégascope*, instrument qui sert à faire diverses copies. Si, au lieu d'un grand objectif, vous ajoutez à l'ouverture une loupe très forte, devant laquelle vous placerez de petits objets très éclairés, vous

---

sérés dans les *Philosophical Transactions of the Royal Society of London.*

aurez le *microscope solaire*, au moyen duquel on obtient les plus forts grossissemens. Enfin si, au lieu de la lumière solaire, vous employez celle d'une lampe, si vous placez devant l'objectif des figures peintes sur verre et renversées, vous aurez la *lanterne magique*, qui n'est autre chose qu'un mégascope portatif; et si vous faites varier la distance de ces figures à l'objectif pour changer leurs dimensions, vous créerez toutes les apparences de la *fantasmagorie*.

SECTION IX.

DE LA DOUBLE RÉFRACTION ET DE LA POLARISATION DE LA LUMIÈRE.

268. Pour compléter l'esquisse rapide des phénomènes de la lumière, il nous reste à parler de certaines particularités singulières qu'elle présente dans diverses circonstances, particularités qui ont beaucoup occupé les physiciens modernes. Malus est le premier qui ait commencé à porter de la précision dans les observations de ce genre, et à les soumettre au calcul; depuis on a beaucoup ajouté à ses travaux; mais comme les faits de cet ordre sont infiniment compliqués, que leur cause est à peu près inconnue, et que leur application ne se présente que bien rarement, il nous suffira de les énoncer.

Lorsqu'on fait tomber un faisceau lumineux sur un assez grand nombre de substances cristallisées, mais particulièrement sur le carbonate de chaux, ou spath calcaire, on remarque qu'il se divise dans son intérieur en deux autres faisceaux qui suivent des routes différentes, et donnent ainsi une image double du point lumineux. C'est ce phénomène qu'on désigne sous le nom de *double réfraction*. Lorsqu'on analyse la marche de ces deux faisceaux,

on reconnaît que l'un a suivi la loi de la réfraction ordinaire, et on dit qu'il a été réfracté *ordinairement*, et que l'autre suit une loi particulière de déviation, d'où l'on dit qu'il se réfracte *extraordinairement*. Dans les cas les plus simples, on remarque bientôt que ces phénomènes se passent autour d'une certaine direction qu'on appelle l'*axe du cristal*, parce qu'on suppose que cette direction dépend de l'arrangement des molécules cristallines. Il est des cristaux à plusieurs axes, qui par conséquent donnent lieu à des réfractions multiples.

269. Cette déviation des rayons est nulle toutes les fois qu'ils sont parallèles ou perpendiculaires à l'axe du cristal; mais, dans le premier cas, on a reconnu qu'ils se propageaient avec la même vitesse, tandis que dans le second ils présentent une grande différence. C'est sur cette base qu'Huyghens, dans la théorie des ondulations, à une époque où cette partie de la physique avait été peu étudiée, MM. Biot et Delaplace, dans celle de l'émission, ont fondé les lois d'analyse de la double réfraction : elles sont fort compliquées, et, dans les deux systèmes, très ingénieuses; il semble cependant que celle d'Huyghens, complétée par les travaux de MM. Fresnel et Arago et de M. Brewster, présente plus de simplicité, et se ramène plus facilement à la théorie générale de la lumière, sans exiger la supposition hypothétique d'un grand nombre de propriétés particulières, soit dans les molécules lumineuses, soit dans les substances douées de la double réfraction.

270. Malus a donné le nom de *polarisation* à la modification éprouvée par la lumière dans la double réfraction, modification en vertu de laquelle elle ne se comporte plus comme la lumière directe. C'est surtout dans les phénomènes de la polarisation qu'on rencontre une complication extrême et des variations sans nombre, que cepen-

dant nos savans physiciens, par des expériences multipliées de toute façon, par des explications aussi ingénieuses que savantes, s'aidant du secours de l'analyse la plus transcendante, ont commencé à soumettre à des lois : mais leur cause est totalement ignorée, et l'explication qu'on cherche à donner de ces phénomènes, soit en admettant des oscillations transversales, soit en supposant que les molécules lumineuses ont différentes faces de polarisation, autour desquelles elles oscillent dans certains cas, est loin d'être complétement satisfaisante. Cependant des observations récentes semblent mettre sur la voie des découvertes : ainsi M. Wheatstone vient de prouver expérimentalement la double réfraction et la polarisation du son (1), ce qui, en apportant de nouvelles probabilités en faveur de la théorie des ondulations, pourra aussi faire découvrir la cause et les lois de ces phénomènes. Ainsi encore M. Brewster avait reconnu depuis long-temps que les substances qui n'ont pas la même densité dans une direction que dans l'autre, sont douées de la double réfraction, et M. Fresnel vient de s'assurer que la chaleur dilate moins le sulfate de chaux parallèlement que perpendiculairement à son axe, ce qui avait été reconnu dans un autre sens pour le spath d'Islande par M. Mitscherlich. Peut-être ces variations, qui doivent influer sur la forme des ondes, donneront-elles quelques notions sur la cause de la double réfraction.

271. Lorsqu'on reçoit sur un second cristal de spath d'Islande la lumière doublement réfractée dans un premier, on trouve que chacun des faisceaux continue le même genre de réfraction, et n'éprouve plus de division, d'où l'on voit que

---

(1) Voyez *Annals of Philosophy*, août 1823.

cette lumière qu'on nomme *polarisée*, c'est-à-dire disposée d'une certaine manière, présente une différence essentielle avec la lumière directe. Aussi M. Arago a-t-il proposé ce moyen pour découvrir si une lumière comme celle d'une comète, par exemple, est directe ou réfléchie; car ce n'est pas seulement la lumière qui a traversé un cristal doué de la double réfraction qui est polarisée, mais c'est aussi celle qui est réfléchie sous certains angles. De même, en passant d'un cristal dans l'autre pour qu'il y ait polarisation, une condition nécessaire est que les sections principales soient parallèles; toutes les fois, au contraire, qu'on fait passer dans un rhomboïde de spath d'Islande un rayon réfléchi sous l'inclinaison convenable, ou bien doublement réfracté, mais sans disposer la coupe principale parallèlement ou perpendiculairement, les mêmes phénomènes n'ont plus lieu. En effet, dans le cas où le plan est parallèle, toute la lumière est réfractée ordinairement; dans le cas où il est perpendiculaire, elle est entièrement réfractée extraordinairement, et dans toutes les positions intermédiaires, elle est en partie rétractée de l'une et l'autre manière; en sorte qu'il y a quatre rayons émergens d'égale ou d'inégale intensité, selon l'inclinaison qu'on donne au plan de polarisation.

272. Certaines substances produisent encore d'autres effets de polarisation, et c'est ce qui rend l'étude de ces phénomènes si difficile : ainsi deux lames de tourmaline placées dans le même sens polarisent la lumière, comme nous venons de le voir; mais, placées à angle droit, ne laissent passer aucune lumière. Le mica, placé dans un certain sens, a de même la propriété de diviser en deux les rayons polarisés; mais de plus, les images qu'il produit sont teintes de couleurs complémentaires, c'est-à-dire dont le mélange forme le blanc.

Ces couleurs dépendent de la position et aussi de l'épaisseur de la lame, en sorte qu'elles paraissent avoir beaucoup d'analogie avec celles des anneaux colorés. Enfin, ce ne sont pas les cristaux seulement qui offrent des phénomènes de polarisation, la plupart des corps plus ou moins réflecteurs et des corps transparens en présentent aussi des effets diversement modifiés et encore très peu connus.

273. La propriété des lames minces de mica, découverte par M. Arago, a été mise à profit par lui pour la solution de diverses questions relatives à l'état des corps célestes, entre autres pour prouver que le disque du soleil envoie les mêmes couleurs et la même intensité de lumière de toutes les parties de son diamètre. M. Biot a tiré parti des mêmes propriétés dans l'invention du *colorigrade*, instrument à l'aide duquel il compare et ramène les couleurs propres des corps à celles des anneaux colorés.

274. L'esquisse des phénomènes de la polarisation que nous venons de présenter est sans doute bien imparfaite et bien incomplète; mais l'espace ne nous permettait autre chose, si ce n'est d'en donner un aperçu. C'est dans les travaux de MM. Malus (1), Arago (2), Biot (3), Brewster (4) et autres savans physiciens, qu'il faut rechercher

---

(1) *Voyez* sa *Théorie de la double réfraction*, un vol. in-8.

(2) *Voyez* les *Mémoires de l'Institut*, le *Journal de l'École polytechnique*, les *Mémoires de la Société philomatique*, et les *Annales de Physique et de Chimie*.

(3) *Voyez* son *Traité de Physique*, 4e vol.

(4) *Voy.* les articles LIGHT, OPTIC, POLARISATION, etc. de l'*Encyclopedia of Edimburgh*, et surtout les Mémoires de M. Brewster, insérés dans les *Philosophical Transactions of the Royal Society*, for the years 1815-16-17, principalement 1818, article XIII.

les expériences et les lois de cette branche de la physique, aussi vaste et aussi compliquée que nouvelle.

CHAPITRE III.

DE L'ÉLECTRO-MAGNÉTISME.

275. Les phénomènes qu'il nous reste à exposer formaient tout récemment encore plusieurs branches distinctes de la physique; l'électricité, le galvanisme et le magnétisme, malgré leurs nombreuses analogies, demeurèrent long-temps séparés, parce qu'on n'avait pas découvert l'anneau qui les unit. On ne tarda pas à reconnaître que le galvanisme n'était qu'un cas particulier de développement de l'électricité, et presque à sa naissance il y fut réuni; mais il n'en fut pas de même des phénomènes de l'aimant. Si leurs effets analogues semblaient indiquer qu'ils n'étaient que des modifications d'un même principe, on ne les avait point encore vus se produire les uns par les autres, et les plus savans physiciens, suivant la route lente, mais sûre de l'expérience, s'abstenaient de prononcer sur leur identité. Enfin la découverte des courans électriques, due à M. Oersted, mais mise dans tout son jour et analysée par M. Ampère, ne laissa plus aucun doute sur cette identité, et rangea les phénomènes magnétiques parmi ceux dus à l'électricité. Peut-être touchons-nous au moment où la découverte de quelques lois plus générales permettra de regarder également les phénomènes de la chaleur et de la lumière comme des modifications d'un même prin-

cipe ; c'est du moins ce que semblent indiquer les nombreuses analogies, les rapports intimes qui rapprochent tous ces effets.

Les anciens n'eurent aucune connaissance des phénomènes électriques et magnétiques ; ils avaient seulement remarqué, mais sans sans s'y arrêter beaucoup, les effets de l'*ambre jaune*, en grec *électron*, et de la pierre d'*aimant*, en grec *magnés*, d'où, à la renaissance des sciences, lorsque ces actions commencèrent à occuper les savans, on a tiré les dénominations d'*électricité* et de *magnétisme*. Maintenant que ces deux ordres d'effets sont réunis, on a préféré à une nouvelle dénomination celle d'*électro-magnétisme*, qui indique sur-le-champ l'union de ces deux sciences.

276. Quelle est la nature de l'électricité? quelle est la cause de tous les phénomènes singuliers qu'elle produit? telles sont les premières questions qui s'offrent à résoudre ; mais à cet égard nous sommes forcés d'avouer notre ignorance. Nous voyons bien que ces effets exigent la présence de fluides éminemment subtils et élastiques. Mais quels sont ces fluides? sont-ils les mêmes que ceux qui produisent la chaleur et la lumière? Si les analogies permettent de penser qu'il en est ainsi, on ne peut point encore le dire d'une manière décisive : c'est ce que nous avons déjà fait remarquer dans nos considérations générales sur les fluides impondérables. Nous avons également cherché à donner une idée des deux systèmes qui partagent les physiciens dans la manière d'envisager les phénomènes électriques. Comme leur explication diffère fort peu dans l'un et dans l'autre système, nous abandonnerons toutes ces idées théoriques, dont nous ne sommes point encore en état de donner une solution complète, et nous rappellerons seulement les bases fondamentales des deux opinons sur la cause de l'électricité.

Dans la plus ancienne, qui paraît avoir été émise d'abord par Dufay, mais qui a été complétée par Symmer, on conçoit deux fluides qui ont une grande tendance à se combiner, à se mettre en équilibre, et qui manifestent divers effets lorsque cet équilibre est rompu dans un corps : cette opinion est la plus généralement adoptée en France; elle se prête peut-être plus facilement à l'intelligence des phénomènes. L'autre est due au célèbre Franklin : on n'y suppose l'existence que d'un seul fluide susceptible de pénétrer tous les corps, et dont les diverses proportions en plus ou en moins dans ces corps produisent tous les phénomènes d'attraction et de répulsion : de là vient la dénomination d'*électricité positive* ou *en plus*, lorsqu'on suppose le corps chargé d'un excès de fluide par rapport aux autres corps; d'*électricité négative* ou *en moins*, lorsqu'on le croit dans un état contraire. Ce système, plus généralement suivi en Angleterre, où on l'appuie même de quelques expériences, se recommande par sa simplicité, et semble plus satisfaisant aux yeux de la raison que celui qui suppose gratuitement l'existence de deux fluides si identiques dans leurs effets et dans le mode de leur développement. Dans ce dernier système, on désigne aussi les deux électricités sous les noms de *positive* et de *négative*, mais plus ordinairement de *vitrée* et de *résineuse*, parce que la résine et le verre sont constitués le plus souvent dans des états électriques contraires.

277. Pour mettre de l'ordre dans l'étude des phnomènes de l'électro-magnétisme, nous verrons d'abord dans quelles circonstances ce fluide, qui est universellement répandu dans la nature, qui paraît y jouer un si grand rôle, qui existe toujours en plus ou moins grande quantité dans les corps, se manifeste ostensiblement par des actions inattendues, surprenantes, bizarres même,

enfin différentes de toutes celles que nous avons étudiées jusqu'ici. Nous ferons ensuite connaître les moyens à l'aide desquels on est parvenu à se rendre maître de ces phénomènes, à les produire à volonté, à les amplifier, à reconnaître leur présence lorsqu'elle paraît tout-à-fait cachée, à distinguer pour ainsi dire leur nature, enfin à leur faire produire des effets dignes de la plus haute attention. Les phénomènes naturels dus à l'électricité nous occuperont dans une troisième section; dans une quatrième, l'électricité par contact nous donnera l'explication de plusieurs faits extraordinaires, et deviendra un instrument de décomposition des plus puissans comme des plus singuliers, instrument qui peut même mettre sur la voie de la nature intime des corps; les phénomènes des courans électriques, qui ont fait reconnaître l'identité du magnétisme et de l'électricité, fixeront ensuite notre attention; enfin nous terminerons par l'exposé des effets des aimans et des corps aimantés, et par celui du magnétisme du globe terrestre.

SECTION PREMIÈRE.

DU DÉVELOPPEMENT DE L'ÉLECTRICITÉ.

278. La véritable cause productrice des phénomènes électriques est inconnue; mais l'expérience a fait reconnaître plusieurs circonstances dans lesquelles ils se développent avec plus ou mois d'énergie. Le nombre de ces conditions de développement de l'électricité s'accroît chaque jour à mesure que les expériences se multiplient, que les moyens d'investigation se perfectionnent; en sorte qu'il est naturel de penser que les corps n'éprouvent aucune modification sans qu'il s'opère une production d'électricité, c'est-à-dire un chan-

gement dans la quantité du fluide électrique qu'ils contiennent. Mais c'est principalement par le frottement et le contact de certains corps qu'on obtient les effets électriques les plus puissans. La chaleur, la compression, diverses combinaisons chimiques, plusieurs animaux sont aussi des causes de production d'électricité.

279. Lorsqu'on frotte un bâton de cire d'Espagne ou de verre avec un morceau de drap, une peau de chat, on remarque que, si on approche le doigt, on obtient de petites étincelles; que si on le place à peu de distance de corps légers, ceux-ci se précipitent sur lui avec impétuosité : de plus, dans l'obscurité le bâton de verre paraît légèrement lumineux. Au bout d'un certain temps après le frottement, ces effets cessent de se manifester; mais on peut les reproduire à volonté en frottant le corps de nouveau. Ce n'est pas le verre et la résine seulement qui développent ainsi de l'électricité par frottement : un très grand nombre de substances sont dans le même cas, et il paraît même que toutes peuvent l'acquérir lorsqu'elles sont isolées; car lorsqu'une personne est placée sur un gâteau de résine, par exemple, on en tire des étincelles en la frappant avec une peau de chat. On voit donc que le frottement, que nous avons vu produire de la chaleur, est un puissant moyen de développer l'électricité, et c'est en effet celui qu'on emploie dans les diverses machines électriques.

280. Si la compression n'est point une cause de production de la vertu électrique aussi puissante, il paraît qu'elle est du moins générale : toutes les fois que l'on comprime deux ou plusieurs corps les uns contre les autres, ils prennent des états électriques différens; c'est ce que prouvent les nombreuses expériences de M. Becquerel sur ce sujet. Le simple contact de deux substances suffit aussi chez un assez grand nombre pour dé-

velopper l'électricité, et on est même parvenu à donner à ce moyen tant d'énergie, à lui faire produire des effets si particuliers, que nous devrons lui consacrer une section à part.

281. Dans une multitude d'opérations chimiques, comme le changement d'état ou de combinaison des corps, il s'opère encore un dégagement d'électricité qu'on peut regarder comme le résultat de la compression ou du contact des molécules de diverse nature. Enfin, en chauffant diverses substances, on leur fait manifester des signes évidens d'électricité, et il existe plusieurs poissons pourvus d'un appareil au moyen duquel ils provoquent instantanément le dégagement d'une grande quantité d'électricité, et dirigent ainsi sur leurs ennemis ou leur proie des commotions foudroyantes.

282. Toutes les fois qu'il y a dégagement d'électricité, soit par le frottement de deux corps, soit par contact, soit par tout autre moyen, ces corps producteurs d'électricité sont toujours constitués en des états électriques différens, c'est-à-dire que si l'un est électrisé positivement, l'autre le sera négativement. Ils présentent alors le phénomène constant de repousser les corps chargés d'électricité de même sorte, et d'attirer ceux doués d'électricité contraire, phénomène qui se manifeste à distance; d'où nous devons conclure que ces effets ont lieu, parce que, dans le premier cas, les deux corps sont déjà surabondamment pourvus du fluide électrique, ou en manquent tous deux; tandis que, dans le second, l'un étant plus chargé que l'autre, ils tendent mutuellement à se rapprocher, afin de partager leur quantité de fluide, et de rétablir l'équilibre.

283. La sphère d'activité d'un corps électrisé s'étend tout autour de lui, et décroît en raison inverse du carré de la distance; c'est ce que Cou-

lomb a démontré. Il en résulte que tous les corps qui sont dans la limite de la sphère d'activité de ce corps doivent être influencés par son électricité. Deux corps électrisés différemment pourront donc paralyser mutuellement leur action en tout ou en partie, et par suite ne donner de signes d'électricité que lorsqu'ils cesseront d'étendre leur sphère d'activité à la même distance. Cet effet ne peut avoir lieu que quand un obstacle s'oppose à leur réunion ; car sans cela la tendance au rétablissement de l'équilibre provoque le corps surchargé à se débarrasser de l'excès de fluide sur l'autre corps, ce qui s'opère par une communication insensible, ou bien par une décharge explosive le plus souvent accompagnée de lumière.

284. Les corps, par rapport à l'électricité peuvent être rangés en deux classes, en bons et en mauvais conducteurs : on n'a découvert aucune propriété en rapport avec la faculté conductrice mais l'expérience a appris que les métaux et la plupart des liquides, ainsi que la vapeur d'eau les substances végétales et animales à l'état frais et aussi la paille, le lin, sont de bons conducteurs et qu'au contraire les substances résineuses et vitreuses, les graisses, le souffre, la soie, les gaz secs sont de fort mauvais conducteurs. On appelle *bon conducteur* le corps qui transmet et abandonne instantanément toute l'électricité surabondante dont il est surchargé ou qu'on lui fournit, et *mauvais conducteur* celui qui ne partage que peu à peu, et par petites portions, son état électrique avec les corps environnans; ces derniers sont ceux chez lesquels l'électricité se développe avec le plus d'énergie; aussi les Anglais les appellent-ils indifféremment *corps électriques* ou *non conducteurs :* on s'en sert pour communiquer l'électricité et l'accumuler sur les autres corps au moyen d'*isoloirs*. En effet, si on entoure de toutes parts un corps con-

ducteur avec des substances non conductrices, et qu'on lui communique de l'électricité, il sera forcé de la conserver jusqu'à ce qu'on lui présente un écoulement, ou bien jusqu'à ce que, surchargé trop abondamment, il se produise une explosion et une décharge de l'électricité accumulée. Un corps conducteur dans lequel l'électricité est ainsi retenue par les corps non conducteurs, est dit *isolé*, et il doit être disposé de la sorte pour produire un effet; car, par sa faculté conductrice même, il transmettrait sur-le-champ toute l'électricité qu'on lui fournirait au *réservoir commun*, et un tel corps serait incapable de manifester le moindre effet. Le globe est ce qu'on appelle le réservoir commun.

Puisque l'électricité ne demeure dans les corps conducteurs que parce que ceux qui ne le sont pas s'opposent à sa transmission, on doit s'attendre à la trouver en entier accumulée à leur surface; et en effet l'expérience a fait reconnaître que le centre d'un tel corps ne manifeste aucun effet. L'air est très mauvais conducteur lorsqu'il est sec, mais sa faculté conductrice augmente considérablement avec son humidité; c'est ce qui rend quelquefois les expériences électriques si difficiles. Au reste, les corps paraissent toujours s'opposer plus ou moins à la transmission du fluide électrique; car dans le vide il se répand avec la plus grande facilité et sous la forme d'une lumière blanche continue. On n'a pas encore pu déterminer sa vitesse de transmission; car, de même que celle de la lumière, elle est instantanée pour nos espaces terrestres.

SECTION II.

DES MOYENS DE PRODUIRE ET DE RECONNAÎTRE L'ÉLECTRICITÉ.

285. Lorsqu'en présentant le doigt à un corps on en tire des étincelles, on reconnaît qu'il est électrisé; mais ce procédé n'est point un moyen de mesure, il n'indique ni la nature ni la quantité de l'électricité : en outre, il n'est point sans danger dans le cas où la charge serait très forte et le corps bon conducteur. Aussi les physiciens ont-ils bientôt dirigé leurs recherches vers la découverte d'instrumens à l'aide desquels on peut reconnaître la présence et la nature de l'électricité, et apprécier le degré de son énergie : tels sont les *électroscopes* et les *électromètres*, tous fondés sur les propriétés attractives et répulsives des corps, en raison de la quantité de fluide électrique qu'ils renferment, tous composés de petits corps légers et mobiles; tantôt c'est simplement une ou deux balles de moelle de sureau suspendues à un fil de lin, et placées dans diverses positions sur différentes machines, ou bien sur un support isolant, *fig.* 89; tantôt ce sont deux lames d'or ou de paille très minces, enfermées dans un flacon de verre, et communiquant à une tige métallique qui sort par le goulot, *fig.* 91; tantôt enfin, comme dans l'électromètre de Haüy, c'est une tige métallique mobile sur un pivot. La balance de torsion de Coulomb, que nous avons décrite page 270, avec quelques légères modifications, devient aussi un électromètre; c'est même le plus susceptible d'exactitude, et on le nomme souvent *balance électrique*. Dans tous ces appareils, lorsqu'on approche les corps mobiles à l'état naturel, ou les fils conducteurs qui les soutiennent, d'un corps électrisé, on

est averti de la présence de l'électricité, parce qu'ils sont attirés lorsque l'électromètre est composé d'un seul mobile, et s'écartent l'un de l'autre lorsqu'il y en a deux : ce dernier effet est produit par l'influence du corps électrisé, qui communique aux deux mobiles un excès d'électricité du même genre, d'où il suit qu'ils doivent se repousser. On conçoit que l'effet produit par cette action doit être en raison de la force agissante; on pourra donc apprécier l'intensité de cette force en mesurant l'écartement des mobiles. Ces effets se manifestent, que le corps soit électrisé positivement ou négativement; mais pour déterminer l'espèce d'électricité du corps qu'on soumet à l'expérience, il suffit d'examiner s'il attire ou s'il repousse un mobile auquel on a préalablement communiqué une espèce d'électricité connue.

286. Le développement d'électricité qu'on obtient en frottant un bâton de verre ou de résine est peu considérable; aussi y supplée-t-on toutes les fois qu'on désire des effets énergiques par les *machines électriques*. Il en est de plusieurs sortes; mais la plus en usage est celle représentée *fig.* 90 : c'est un plateau de verre P P, de dimension plus ou moins grande, pressé entre quatre coussins de soie C remplis de crin, et accompagnés d'une enveloppe de taffetas verni TT; lorsqu'on tourne le plateau au moyen de la manivelle, il se développe une grande quantité d'électricité qui, en vertu de la propriété des pointes, est soutirée peu à peu, et va s'accumuler dans le corps conducteur H, auquel on donne telle forme et telle dimension que bon semble, mais dont on termine les extrémités par des boules, afin de mieux retenir le fluide. En faisant communiquer les coussins avec le réservoir commun, on possède ainsi une source constante et abondante d'électricité, au moyen de laquelle on peut faire une foule d'expériences curieuses.

287. Nous avons vu que les corps à l'état naturel sont attirés par un corps électrisé; mais ils présentent dans leurs effets une différence, selon qu'ils sont ou non conducteurs. Dans ce dernier cas, ils demeurent appliqués l'un à l'autre, et au contraire lorsqu'ils sont conducteurs, à cause de la décomposition et du partage de tout le fluide qu'ils contiennent, à peine le contact a-t-il lieu, qu'ils se repoussent; mais si, par un moyen quelconque, on enlève l'électricité d'un de ces corps, ils s'attireront de nouveau; c'est sur ce principe que repose la construction de quelques appareils curieux et amusans, nommés *carillon*, *moulin*, *danse électriques*, appareils dans lesquels différens corps sont alternativement attirés ou repoussés, et par suite peuvent frapper un timbre à coups redoublés, tourner ou sauter en l'air.

288. Les effets de la machine électrique, déjà très puisans, peuvent encore être considérablement amplifiés par l'accumulation de l'électricité dans un corps. Lorsqu'on communique des électricités contraires aux deux surfaces d'un corps électrique, ou bien à deux corps conducteurs séparés par un non conducteur suffisamment mince, ces deux électricités ne peuvent se réunir ni se détruire par leur union, mais elles exercent l'une sur l'autre une puissante influence : on dit que le corps dans cet état est *chargé*, et on appelle *décharge* ou *commotion électrique* la réunion des deux électricités, qu'on opère en faisant communiquer les deux surfaces ou les deux corps par le moyen de conducteurs. On conçoit que cette décharge est d'autant plus forte que les corps sont plus électrisés, et que cette accumulation dépend de l'influence plus ou moins grande qu'ils exerçaient l'un sur l'autre, jusqu'à cette limite où la force de l'attraction électrique serait suffisante pour rompre l'obstacle qui s'opposait à la réunion des fluides. C'est sur ce prin-

cipe que repose toute la théorie de l'*électricité accumulée*, et la construction des nombreux appareils, au moyen desquels on parvient d'une part à apprécier les plus petites quantités en les ajoutant, et d'un autre côté à obtenir des décharges très énergiques.

289. L'*électrophore* et le *condensateur* sont les appareils à l'aide desquels on parvient à reconnaître la présence d'une très petite quantité d'électricité développée. Ces instrumens, auxquels on donne différentes formes, que l'on compose de diverses substances, sont essentiellement formés, ainsi que nous l'avons indiqué ci-dessus, de deux corps conducteurs, séparés par une substance non conductrice; quelquefois il n'y a qu'un corps conducteur placé sur la surface électrique. Lorsqu'on communique une légère quantité d'électricité au corps conducteur, il arrive que le fluide de l'autre corps est décomposé par son influence de façon à paralyser son action; on peut donc ajouter de nouvelles quantités d'électricité qui agiront de même, et s'accumuleront successivement. On pourra alors, en faisant cesser l'influence du conducteur, apprécier cette électricité accumulée comme à l'ordinaire. En faisant communiquer le corps collecteur au réservoir commun, cette accumulation n'a d'autre limite que l'instant où la force d'attraction l'emporte sur la résistance de la substance conductrice, ou bien des corps isolans, auquel cas il se fait une explosion et une combinaison des deux électricités.

Ceci nous fait comprendre sur-le-champ tous les appareils à l'aide desquels on accumule de grandes quantités d'électricités, et on obtient ainsi des effets remarquables par leur violence. En effet, tous ne sont autre chose qu'un condensateur de diverses formes, dont on fait communiquer un des plateaux avec le réservoir commun, et dont l'autre

est aussi en contact avec une machine électrique en mouvement. La décomposition successive du fluide s'y opère, comme nous l'avons vu ci-dessus, et avant que la résistance du corps isolant puisse être vaincue, les deux plateaux sont constitués en des états électriques très différens : tant qu'ils restent isolés, leur effet se paralyse mutuellement, et est insensible; mais si on établit la communication au moyen d'un corps conducteur, la combinaison a lieu sur-le-champ, et une violente commotion se fait sentir. Aussi, dans la pratique, n'opère-t-on ces décharges qu'avec le secours d'un *excitateur*, *fig.* 92, qui est un arc métallique conducteur de l'électricité, pourvu de manches isolans.

290. Les machines les plus usitées pour produire ces violentes décharges sont les suivantes : le *carreau fulminant*, qui est composé d'une plaque de verre, recouverte sur chaque face d'une feuille d'étain; la *bouteille de Leyde*, découverte par hasard par Mussembrock, et qui conduisit à l'invention de tous les autres appareils. C'est un bocal de verre, *fig.* 93, recouvert à l'extérieur d'une lame d'étain, et rempli de feuilles d'or pour faire garniture intérieure; une tige métallique, terminée par un bouton, plonge dans cet appareil, que l'on charge en tenant à la main la garniture extérieure, et en présentant le bouton de cuivre au conducteur d'une machine électrique; afin d'obtenir des effets encore plus énergiques, on réunit plusieurs bouteilles au moyen de conducteurs communs : c'est ce qu'on appelle une *batterie électrique*, par les décharges de laquelle on peut brûler le fer, l'or, la plupart des métaux, tuer des animaux à de grandes distances, enfin produire un grand nombre de phénomènes très remarquables.

SECTION III.

DES PHÉNOMÈNES NATURELS DE L'ÉLECTRICITÉ.

291. Nous venons de voir les batteries électriques manifester une grande puissance, et produire des effets très violens; ces considérations vont nous conduire à la découverte des principaux phénomènes de l'électricité naturelle, et spécialement de la foudre et du tonnerre, qui sont de véritables décharges électriques.

Notre globe est un réservoir commun, qu'on peut considérer comme une source immense d'électricité; nous ne serons donc point étonnés que, dans la multitude d'opérations de tout genre qui se passent à sa surface, une portion du fluide électrique devienne libre ou soit absorbée, d'où résultera une rupture d'équilibre. Nous connaissons déjà les propriétés des pointes, on doit penser par conséquent que c'est particulièrement par les éminences qui hérissent la surface du globe, par les pointes déliées des arbres, que s'opère le dégagement et l'absorption du fluide électrique dans l'atmosphère : c'est au reste ce que confirme l'expérience, puisque nous voyons les orages n'être nulle part aussi fréquens que dans les pays entrecoupés de montagnes et de forêts, et la foudre tomber ordinairement sur les objets élevés, et surtout sur ces arbres qui menacent les nuages de leurs flèches.

292. Puisque les pointes ont aussi bien la propriété de soutirer que de dégager le fluide surabondant, il en résulte qu'elles tendent perpétuellement à rétablir l'équilibre par des actions lentes et insensibles; mais elles ne peuvent point agir ainsi dans toutes les circonstances. En effet, si nous supposons qu'une portion de fluide, par une

cause quelconque, est misé en liberté, elle aura aussitôt une tendance à se répandre, et, favorisée par l'action des pointes, elle se répandra dans l'atmosphère; là elle pourra suivre les courans de vapeur d'eau, qui sont meilleurs conducteurs que l'air, et par suite s'accumuler dans les nuages, comme nous avons vu l'électricité s'accumuler dans un corps conducteur isolé : on doit aussi penser qu'une portion de l'électricité de l'atmosphère est produite par l'évaporation de l'eau et la condensation et la réfraction des vapeurs, phénomènes dans lesquels on rencontre une foule de circonstances qui tendent à prouver l'identité du fluide de la chaleur et de celui de l'électricité. Quoi qu'il en soit, si la quantité du fluide dont un nuage est chargé continue à augmenter, s'il approche suffisamment d'un lieu du globe ou d'un autre nuage électrisé contrairement, il arrivera un instant où une décharge aura lieu. On peut alors comparer tous les effets qui se manifesteront à ce qui se passe dans les décharges électriques de nos machines, où il y a production de lumière, de bruit, combustion, etc. Il faudra seulement amplifier les résultats, à cause de l'énergie de la cause qui les produit. De cette manière on peut facilement expliquer la formation des orages, l'éclair, le tonnerre, la production de la grêle, et la plupart des effets si singuliers, si bizarres même de la foudre; il en est de même du choc en retour ou de la foudre ascendante, qui est due au rétablissement instantané de l'équilibre dans un corps.

293 C'est sur la propriété des pointes de soutirer l'électricité, et sur la tendance qu'elle a de suivre les corps conducteurs, que Franklin a conçu l'idée des *paratonnerres;* ils sont en effet composés d'une tige métallique plus ou moins haute, qu'on place sur les lieux les plus élevés, et qui communique au réservoir commun par le

moyen d'une chaîne de métal ou bien d'une corde de fils de fer ou de fils de laiton. Les *paragrêles*, inventés récemment par M. Lapostolle, ne sont autre chose que des paratonnerres, mais plus simples et moins dispendieux dans leur construction; ce sont de longues perches, que l'on implante dans le sol, et qui sont terminées par de petites pointes métalliques; celles-ci communiquent au réservoir commun par un fil de laiton et par une enveloppe de paille qui garnit toute la perche. Ces appareils diminuent l'intensité de l'électricité accumulée, en la soutirant petit à petit, et ont de plus l'avantage, en présentant au fluide un écoulement facile, de préserver les corps environnans, dans le plus grand nombre de cas, lorsqu'une décharge a lieu.

294. Toutes les fois que l'électricité passe d'un corps dans un autre, subitement et à distance, c'est par étincelle ou explosion, et par conséquent avec dégagement de lumière (1). L'éclat de cette lumière et la force du bruit qui accompagnent l'explosion dépendent de la quantité de fluide. La couleur de cette lumière est le plus ordinairement légèrement violâtre, mais elle change selon les milieux que le fluide traverse; elle se produit également dans l'eau. Lorsque la communication de l'électricité se fait par le moyen de corps plus ou moins bons conducteurs, il ne se manifeste que de très petites étincelles, et le fluide paraît passer par un jet continu; nous avons déjà dit que dans le vide ce jet est lumineux et préparé

(1) Les physiciens anglais reconnaissent généralement que les étincelles qu'on tire d'un corps électrisé positivement ou négativement ne sont pas semblables; observation importante par laquelle ils appuient le système de Franklin. Voyez *Treatise on electricity* by Cavallo, et ses *Elements of natural philosophy*, 3e vol.

de certaine façon; il produit ce qu'on appelle des *aigrettes lumineuses*. On en voit aussi quelquefois à l'extrémité des pointes, quand le dégagement de l'électricité est très considérable.

295. Lorsque l'électricité se dégage en abondance, on sent une odeur assez semblable à celle du phosphore; reçue sur la langue, elle cause la sensation d'un goût particulier; communiquée à une partie quelconque de notre corps, elle produit un frémissement plus ou moins désagréable, en raison de la force de la décharge et de la sensibilité de la personne. Lorsque cette décharge est considérable, elle produit dans les organes une secousse violente et très pénible, elle peut même sur-le-champ frapper de mort les animaux et les végétaux.

296. L'électricité paraît jouer un très grand rôle dans la plupart des phénomènes naturels, particulièrement chez les êtres organisés; mais nous sommes forcés d'avouer que nos connaissances à cet égard sont fort peu avancées. Du moins son action sur la plupart des corps est incontestable; ainsi l'eau soumise à des décharges répétées dégage de l'hydrogène et de l'oxigène, ce qui indique qu'elle est décomposée en partie; une autre expérience prouve que l'électricité place les molécules de l'eau, et probablement de tous les corps, dans un état répulsif extraordinaire; en effet, dans un vase duquel l'eau ne s'échappait par des orifices capillaires que goutte à goutte, on la voit s'élancer en jets divergens. On sait que l'électricité active la végétation, augmente la transpiration des animaux, l'évaporation des fruits, des feuilles, en général de tous les corps. Les décharges électriques changent aussi la couleur de certaines fleurs délicates, et produisent une multitude de combinaisons et de décompositions chimiques; une très petite étincelle suffit pour enflammer

plusieurs substances inflammables; une commotion peut détruire la propriété magnétique d'un aimant, ou l'augmenter, ou bien renverser ses pôles; enfin ce fluide présente une multitude d'autres phénomènes qu'on n'est point encore parvenu à soumettre à l'analyse, et qu'il serait trop long de mentionner.

297. Nous avons annoncé que dans certains corps la chaleur développe la propriété électrique : nos connaissances à cet égard sont aussi fort bornées; mais on sait que dans plusieurs substances minérales, et surtout dans la tourmaline, on produit ainsi des pôles d'attraction et de répulsion, qui conduisent, par rapport aux corps électrisés, absolument de même que les aimans par rapport aux corps magnétiques.

298. Enfin on connaît quatre poissons qui ont la propriété de produire à volonté des commotions électriques très violentes : ce sont la torpille, espèce de raie, le gymnote électrique ou anguille de Surinam, le silure et le tétrodon électriques. On voit bien que les organes qui développent le fluide sont composés de cellules remplies de matières gélitaneuses, et on pense que c'est par une réaction des parties musculeuses sur les parties gélatineuses que cette production s'opère; mais on ignore, à vrai dire, ce qu'il en est, et comment cette réaction est mise en jeu.

SECTION IV.

DE L'ÉLECTRICITÉ PAR CONTACT, OU DU GALVANISME.

299. Nous avons déjà annoncé que le contact de certaines substances développait une électricité très puissante; en effet, c'est un des moyens d'isolement du fluide électrique des plus énergiques,

et par conséquent tous les phénomènes qui sont le résultat de cet isolement doivent s'y manifester avec la même intensité. Il paraît que, dans certaines circonstances, tous les corps mis en contact deux à deux, et pour quelques uns les fragmens d'un même corps, dans des positions différentes, sont susceptibles de développer de l'électricité, et dès lors on conçoit combien ces effets doivent se rencontrer fréquemment, combien aussi ils doivent avoir d'influence dans la production de nombreux phénomènes naturels. Mais, en nous bornant à ce qu'il y a de positif dans cette partie de la science, nous devons faire connaître quelles substances agissent avec le plus d'énergie et dans quelles conditions; nous indiquerons ensuite les principaux résultats de cette action.

300. Galvani fut le premier physicien qui remarqua le développement de l'électricité par le contact de deux substances; en préparant des grenouilles, les ayant par hasard touchées avec du fer et du laiton, il fut frappé des violentes contractions qui se manifestèrent dans leurs muscles, et des convulsions qui agitèrent leurs membres. Entre les mains de ce savant habile, cette observation ne demeura point stérile, et, en variant les expériences, il reconnut que ces effets étaient dus au contact de deux métaux, et se reproduisaient aussi lorsqu'on faisait communiquer un nerf et un muscle, d'où il conclut l'existence d'une électricité particulière, qu'il appela *animale*, et qu'il supposait circuler lorsque des substances hétérogènes étaient mises en communication. Les physiciens, adoptant généralement ses idées, furent conduits à admettre un nouveau fluide, qu'ils nommèrent *galvanique*, du nom de celui qui en avait le premier découvert les effets.

Mais bientôt l'analyse plus exacte des phénomènes démontra l'identité complète de l'électricité

et du galvanisme. Le célèbre Volta remarqua d'abord que les convulsions produites dans les membres des grenouilles, et en général de tous les animaux, n'étaient manifestes que lorsqu'on mettait en communication les nerfs et les muscles, au moyen de deux métaux, de même qu'en appliquant sur chaque surface de la langue une plaque d'un métal différent, à l'instant du contact des deux plaques, on ressent une saveur particulière, et on aperçoit dans les yeux une légère étincelle. Ces remarques le conduisirent à penser que les convulsions de la grenouille et tous les phénomènes galvaniques étaient dus à ce que les deux métaux et en général deux substances hétérogènes prennent des états électriques différens, lorsqu'on les met en contact immédiat; il en conclut aussi que la grenouille, et en général le corps conducteur interposé entre les deux substances, servait à établir la commmunication entre elles, ce qui l'amena à la découverte de l'instrument si remarquable qu'on appelle *pile de Volta, pile galvanique.*

301. Le physicien que nous venons de citer, en essayant l'application de diverses substances, reconnut que le meilleur excitateur était le zinc mis en contact avec le cuivre ou l'argent, et en communication par un liquide, et surtout un liquide acidulé; en conséquence la pile, qui eut d'abord la forme d'une colonne, *fig.* 94, composée de disques de cuivre et de zinc, soudés ou mis en contact, chacun de ces couples étant séparé par des rondelles de drap humide; qui fut ensuite composée de plaques de diverses formes et de diverses dimensions, renfermant également zinc et cuivre soudés ensemble, et plongeant dans une auge remplie d'un liquide acidulé; que l'on construit ordinairement aujourd'hui comme le représente la *fig.* 95, est toujours essentiellement

formée de zinc et de cuivre mis en contact intime, dans la vue de produire un développement d'électricité. Un appareil, composé d'une paire de plaques, fournit une quantité d'électricité insensible, et qu'on ne peut rendre appréciable qu'au moyen du condensateur; mais, en réunissant plusieurs paires au moyen d'un bon conducteur, comme un liquide acidulé, en leur donnant d'assez grandes dimensions, enfin en faisant communiquer un des élémens avec le sol, cet instrument agit avec une énergie remarquable. On sait que la quantité d'électricité développée, toutes choses égales d'ailleurs, c'est-à-dire le contact et la communication étant aussi parfaits que possible, est en raison de la quantité et de la surface des plaques (1).

302. Lorsqu'un appareil de ce genre est isolé, il ne peut puiser le fluide, qui prend deux états différens, que sur lui-même; il en résulte donc que la plaque centrale ne manifestera aucune tension électrique, et que celle des autres augmentera à mesure qu'elles s'éloigneront du centre, mais étant positive d'un côté et négative de l'autre. Si au contraire l'instrument communique avec le réservoir commun, c'est lui qui fournira le fluide décomposé, et alors la tension électrique augmentera continuellement dans chaque plaque, à partir de celle qui est unie au sol : dans ce cas l'électricité qu'on obtient est ordinairement positive lorsque c'est le cuivre qui communique avec le réservoir commun, et négative lorsque c'est le zinc.

---

(1) M. Mollet, de Lyon, annonçait dernièrement qu'on obtient des effets très énergiques avec un appareil composé d'un très petit nombre de pièces de cinq centimes et de disques de zinc semblables : il était parvenu, avec cette pile modeste, à décomposer l'eau.

303. L'identité de l'instrument que nous venons de décrire avec les machines électriques, mais avec ces machines, si elles pouvaient continuellement réparer leurs pertes, fournir par conséquent un courant continu, au lieu de décharges successives, est rigoureusement démontrée, puisqu'on peut y charger des bouteilles de Leyde, reconnaître son action sur les électroscopes, voir que la pile agit sur les électromètres précédemment électrisés, comme le ferait un bâton de résine ou de verre. Les effets de commotion, de combustion qu'elle présente sont aussi à peu près semblables; mais dans la décomposition des corps elle agit avec une puissance incomparablement plus considérable. C'est avec son secours que les chimistes modernes ont obtenu des résultats de la plus haute importance; ils ont décomposé l'eau, les oxides, les acides, enfin les alcalis et certaines bases qu'on avait jusqu'alors considérées comme des corps simples. Dans tous ces phénomènes, il paraît que l'action de la pile consiste à décomposer le fluide naturel contenu dans les corps, et à l'isoler dans chacun des élémens constituans; il arrive alors que les élémens électrisés de la sorte positivement, s'accumulent au pôle négatif de la pile, et ceux électrisés négativement au pôle positif. Il est remarquable que l'oxigène, qui est le corps le plus universellement répandu dans la nature, manifeste toujours un état électrique négatif. Il est aussi bien remarquable que ces décompositions peuvent avoir lieu lorsque les fils qui amènent l'électricité des pôles de la pile ne se rendent pas dans le même vase; ainsi, dans la décomposition de l'eau, on peut obtenir l'oxigène dans un vase et l'hydrogène dans un autre, en sorte qu'on est forcé d'admettre que l'un ou l'autre de ces corps a été transporté d'un vase dans l'autre par l'action de la pile. C'est un phénomène

des plus importans, mais qu'il est bien difficile d'expliquer dans l'état actuel des choses.

304. Les expériences des physiciens ont conduit à attribuer au galvanisme un très grand nombre de phénomènes présentés par les corps vivans ou organiques; mais aucun lien ne les unit; ils ne s'offrent jusqu'à présent que comme des hypothèses plus ou moins ingénieuses; nous devons donc nous abstenir de les mentionner.

SECTION V.

DES COURANS ÉLECTRIQUES, OU DES PHÉNOMÈNES ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES.

305. Nous venons de voir que la pile voltaïque est une source constante d'électricité, et que par là elle exerce une grande influence sur les corps; dans cette section, nous allons examiner ce qui se passe lorsqu'on réunit ses deux pôles au moyen d'un fil conducteur : on conçoit en effet que dans ce cas il ne doit point y avoir destruction d'électricité, mais production d'un *courant*, puisque la source du fluide est permanente; ce fluide doit donc circuler sans cesse d'un pôle à l'autre; et quant à ses effets, on peut considérer ce courant comme double, l'un, s'établissant du pôle positif au pôle négatif, et l'autre, en sens contraire, du pôle négatif au pôle positif.

On savait déjà que, dans ces circonstances, l'action électromotrice de la pile ne cessait point; ainsi, malgré que la tension électrique ne se manifeste plus alors à l'électromètre et au condensateur, on savait que les décompositions chimiques pouvaient encore se produire. M. Davy avait surtout fait connaître cet important phénomène d'incandescence, de chaleur et de lumière produit dans le vide, lorsqu'on place les deux fils conducteurs

des pôles de la pile à peu de distance, ou qu'on établit le circuit au moyen d'un charbon; ce corps brille alors de la lumière la plus vive; il en émane une chaleur intense, et cependant aucune combustion n'a lieu, aucun atome de ce corps n'est consumé; nous avons déjà fait remarquer combien cette expérience avait d'importance, puisqu'elle peut totalement changer la manière d'envisager les phénomènes chimiques, et conduire à la découverte de la cause de la chaleur et de la lumière. Mais, quoi qu'il en soit, ces observations ne conduisaient à aucun résultat, lorsque M. Oersted reconnut que le courant électrique agissait sur l'aiguille aimantée. Dès lors cette partie de la science devint le but des recherches d'un grand nombre de physiciens, et, grâce aux beaux travaux de MM. Ampère et Arago, changea totalement de face par la démonstration de l'identité du magnétisme et de l'électricité.

306 M. Ampère reconnut d'abord que les courans électriques se comportent exactement de même que des aimans, c'est-à-dire, s'attirent ou se repoussent réciproquement, selon qu'ils ont lieu dans le même sens ou en sens opposé; c'est-à-dire qu'ils donnent lieu à des pôles différens, c'est-à-dire enfin qu'on peut les toucher sans leur faire perdre aucunes de leurs propriétés, ce qui distingue le conducteur des courans des conducteurs électriques ordinaires. Le conducteur mobile, qui avait fait reconnaître à M. Ampère l'attraction et la répulsion des courans, lui fit voir que le globe, qui dirige les aimans dans un certain sens, qui sous ce rapport agit comme M. Oersted avait démontré qu'agissait le fil conducteur, manifeste une action semblable sur les courans électriques. D'un autre côté, M. Arago montra que le fil conducteur des courans attire la limaille de fer, d'acier, de nikel, de cobalt, tous corps auxquels on a re-

connu la propriété magnétique, mais n'attire pas les autres corps légers absolument comme le ferait un aimant. Enfin il parvint à aimanter des barreaux d'acier en les soumettant aux courans d'un conducteur contourné en spirale, et même au moyen des décharges successives de la machine électrique ou d'une bouteille de Leyde; en sorte qu'on peut dire que, par les expériences de ces savans, l'identité du magnétisme et de l'électricité est un des points de physique le mieux démontré. Il nous reste à exposer comment on peut concevoir la production des phénomènes de ce genre.

307. Il résulte de ce que nous venons d'exposer que l'aimant, tous les corps magnétiques et le globe lui-même doivent être considérés comme des corps où règnent des courans électriques. On se rendra facilement compte des phénomènes, en supposant que dans tous les corps électriques ou magnétiques, en vertu de la décomposition du fluide, il s'établit des courans autour de chacune des molécules constituantes, mais que ces courans ont lieu tantôt régulièrement, tantôt irrégulièrement. Dans les corps où ils ont lieu irrégulièrement, et ce sont les corps électrisés ordinaires, il pourra y avoir des phénomènes d'accumulation et de décharge du fluide; dans ceux où les courans s'établissent d'une manière uniforme, et ce sont les corps magnétiques, les phénomènes que nous venons d'exposer se manifesteront : l'action de ces corps est la résultante de la combinaison de toutes les actions partielles des particules; ce que M. Ampère a prouvé, par le calcul, devoir exister nécessairement dans cette suppositon; dès lors on conçoit comment ces actions, qu'on peut considérer comme s'exécutant dans deux sens différens, produisent deux pôles où chacune de ces actions est à son maximum.

308. Lorsqu'un courant électrique est établi,

soit dans un fil conducteur, soit dans un aimant, ou bien lorsqu'on laisse agir celui du globe, si on y soumet un corps magnétique, c'est-à-dire un corps dans lequel des courans analogues peuvent s'établir, il arrivera que le courant tendra à diriger ce corps de façon à ce que la circulation ait lieu dans le même sens. Il attirera par conséquent le corps doué du même courant, et le dirigera parallèlement à lui ; il repoussera le corps doué du courant contraire, et lui fera faire une demi-révolution s'il est mobile sur un axe. Ces phénomènes sont produits à chaque instant dans les fils conducteurs et dans les aimans de toute sorte. On reconnaît en effet que les courans s'y établissent constamment perpendiculairement à l'axe. Ainsi, autour du globe terrestre les courans ont lieu de l'est à l'ouest, et l'observateur, étant supposé placé dans cette direction, ayant le dos tourné vers l'axe de la terre, a le pôle austral à sa droite et le pôle boréal à sa gauche; de même dans un aimant de forme quelconque, l'observateur ayant la même position relativement à l'axe, les courans se feront dans le même sens, et il aura également le pôle austral à sa droite et le boréal à sa gauche; enfin, dans les fils conducteurs, un des courans s'établit aussi à sa droite et l'autre à sa gauche. C'est en ramenant à ces positions les actions diverses des aimans qu'on retrouve l'accord le plus parfait entre la théorie et les phénomènes d'attraction de répulsion magnétiques, et qu'on reconnaît que les courans de même sorte se dirigent constamment dans le même sens. On concoit alors pourquoi une aiguille aimantée se place toujours dans le méridien magnétique perpendiculairement aux courans électriques.

309. Nous ne pouvons mieux faire, pour aplanir les difficultés que pourrait encore présenter ce sujet, bien difficile à exposer clairement en si

peu de mots, que de transcrire le passage suivant, extrait des mémoires de M. Ampère (1) : « En « considérant tous les phénomènes qu'offrent les « aimans comme des phénomènes purement élec- « triques, le pôle boréal et le pôle austral ne sont « distingués l'un de l'autre que par leur différente « situation relativement aux courans qui entourent « l'axe de l'aimant. Cette situation est la même que « celle des pôles de même nom de la terre par rapport « aux courans du globe. Or, dans celui-ci les cou- « rans vont de l'est à l'ouest; et par conséquent en « y plaçant un observateur, comme nous l'avons « supposé placé dans le fil conducteur, cet obser- « vateur a les pieds à l'est, la tête à l'ouest, et la « face tournée vers les points exterieurs au globe « sur lesquels le courant doit agir. Il tourne donc « le dos à l'axe du globe, et a le pôle austral à sa « droite et le pôle boréal à sa gauche. Il en est de « même pour les aimans, en concevant toujours « que l'observateur, qui est placé dans leurs cou- « rans, tourne le dos à l'axe pour faire face aux « points extérieurs sur lesquels ces aimans agissent. « Nous dirons donc que dans les aimans, comme « dans le globe, le pôle austral est à droite des « courans que nous admettons (ce qu'on peut voir « dans l'aimant A B, *fig.* 96). Cette seule diffé- « rence de situation suffit pour rendre raison des « effets contraires que produisent les deux pôles « de l'aimant, dans tous les cas où ils n'agissent « pas de la même manière. » A B est la direction de l'axe de l'aimant ou du globe, et la direction même du fil conducteur.

Ainsi, puisque nous admettons que les courans électriques réguliers qui donnent lieu aux phénomènes magnétiques exécutent leur mouvement de

---

(1) Voy. le *Supplément à la Chimie de Thomson*, 1822.

rotation de l'est à l'ouest, dans la direction perpendiculaire à l'axe des aimans ou du globe, et dans la direction même des fils conducteurs, il est clair que ces courans ont toujours lieu dans le même sens, et manifestent des phénomènes d'attraction et de répulsion, afin d'établir cette identité de mouvement, tandis qu'au premier abord on pouvait tirer une conclusion toute contraire, de ce que les pôles de même nom se repoussent et ceux de noms différens s'attirent. En effet, si on présente au pôle boréal B de l'aimant, *fig.* 96, le pôle boréal d'une aiguille aimantée, en établissant la position indiquée par M. Ampère dans le passage ci-dessus, on voit sur-le-champ que la direction des courans dans l'aimant et l'aiguille est opposée, et par conséquent qu'ils doivent se repousser; car, puisque le mouvement de rotation a toujours lieu de l'est à l'ouest, il est évident que les courans s'entrechoquent lorsqu'on oppose le pôle boréal de l'aiguille au pôle boréal de l'aimant, et par conséquent qu'il doit y avoir répulsion; et, au contraire, qu'ils sont identiques lorsqu'on présente le pôle austral au pôle boréal, et par suite qu'il doit y avoir attraction mutuelle.

Les courans électriques produisent sur différens corps un grand nombre d'effets particuliers, à l'étude desquels se livrent les physiciens actuels. Ainsi, pour ne citer que quelques uns des exemples les plus saillans, M. Davy a reconnu non seulement que les liquides traversés par des courans prennent divers mouvemens de rotation, mais encore qu'au dessus de chaque fil conducteur ils forment un cône proéminent duquel partent des vagues, tandis que si on en approche un aimant, les cônes se changent en entonnoir, et le liquide prend un mouvement rapide de rotation (1). D'un

(1) Voyez les *Philosophical Transactions* for 1823,

autre côté, M. Becquerel vient de constater, au moyen d'un système de galvanomètres très sensible, qui est de son invention, que des effets et des courans électriques se manifestent dans les phénomènes capillaires et dans toutes les dissolutions, etc. (1)

On ne peut douter que les courans électriques et l'électricité ordinaire, aussi bien que la lumière et la chaleur, ne jouent un rôle de première importance dans les phénomènes organiques; mais il n'est point encore assez positivement analysé pour s'y arrêter dans un ouvrage de la nature du nôtre. (2)

SECTION VI.

DES PHÉNOMÈNES DE L'AIMANT OU DU MAGNÉTISME.

310. L'AIMANT est un minéral naturel de fer qui possède la propriété d'attirer à distance, et de s'attacher fortement le fer, l'acier, le nikel et le cobalt, précisément comme les fils conducteurs où règnent des courans électriques. Nous devons

---

et le *Bulletin des Sciences physiques*, de M. de Ferussac, n° 3; mars 1824.

(1) *Voyez* les Mémoires de M. Becquerel, dans les *Annales de Physique et de Chimie*, de MM. Arago et Gay-Lussac.

(2) *Voy.*, dans les *Annales de la Société Linnéenne de Paris*, pour les années 1824 et 1825, plusieurs Mémoires de l'auteur de cet Abrégé, dans lesquels il a essayé d'appliquer à la végétation les nouvelles théories de la lumière, de la chaleur et de l'électricité. — *Voy.* aussi, pour le développement le plus complet de la nouvelle théorie de l'électro-magnétisme, les ouvrages de M. Ampère.

donc en conclure que dans les corps aimantés de semblables courans existent, et cette conclusion est démontrée, puisque les aimans et les conducteurs présentent des phénomènes absolument semblables, puisqu'on peut dans toutes les circonstances remplacer un aimant par un fil conducteur, *et vice versâ*. Le fer doux ne conserve la propriété magnétique que tant que dure son union avec un autre corps aimanté : ainsi les courans cessent en même temps que cette union; mais dans l'aimant naturel, dans l'acier, le nikel et le cobalt, cette propriété et les courans qui en sont la cause se conservent pour ainsi dire indéfiniment. C'est cette faculté qu'on a mise à profit dans l'invention des barreaux aimantés et des aiguilles, dont l'utilité a été si grande en devenant des boussoles; cette même faculté des aimans, de communiquer leurs propriétés sans rien perdre de leur énergie, a permis de multiplier à volonté les aimans artificiels, malgré que le petit nombre des corps que nous venons de citer soient les seuls susceptibles d'acquérir la vertu magnétique.

311. Autrefois le seul moyen d'aimanter fortement un barreau ou une aiguille d'acier, était de les frotter avec un aimant naturel ou un barreau déjà aimanté; ceux-ci leur communiquaient alors les courans dont ils étaient doués, et ces courans s'y continuaient indéfiniment. On savait aussi que les corps aimantables deviennent magnétiques par l'action du globe, surtout lorsqu'on les dispose dans la direction du méridien magnétique et sous l'inclinaison du lieu où l'on se trouve : le globe agit alors comme un fil conducteur, mais l'aimantation communiquée de la sorte n'est jamais intense. Maintenant les expériences du savant physicien, M. Arago, en même temps qu'elles sont une preuve invincible en faveur de la nouvelle théorie, ont indiqué les moyens d'aimanter les corps sans le

secours d'aucun aimant; il suffit pour cela de les entourer d'un fil disposé en hélice, dans lequel on établit des courans électriques, soit en le faisant communiquer aux deux pôles de la pile, soit par des décharges successives d'une batterie électrique.

312. Lorsqu'on aimante les barreaux selon l'ancienne méthode, il arrive souvent qu'il se forme des points où les deux pôles se réunissent, et par conséquent un tel barreau présente des irrégularités telles qu'une aiguille d'épreuve y est plusieurs fois attirée et repoussée. On appelle ces perturbations des *points conséquens*. Il est facile de voir que ces phénomènes sont dus au changement de direction des courans circulaires dans les différentes portions d'un même barreau, puisqu'en aimantant un barreau au moyen de l'hélice on peut produire à volonté des points conséquens, en contournant le fil tantôt dans un sens, tantôt dans un autre. Nous avons déjà dit que le globe communique l'aimantation aux corps magnétiques abandonnés à eux-mêmes pendant quelque temps, surtout lorsqu'ils sont placés obliquement à l'horizon. On ne sera donc point étonné d'apprendre que la plupart des instrumens de fer ou d'acier, tels que les clefs, les pelles et pincettes, etc., acquièrent la vertu magnétique entre nos mains, et en donnent des preuves lorsqu'on soumet une aiguille très sensible à leur influence.

313. Dans l'ancienne théorie du magnétisme, qu'on regardait comme le résultat d'une force résidant dans les corps, le globe terrestre était tantôt considéré comme un grand aimant, tantôt on supposait un noyau magnétique central, à l'influence duquel certains corps étaient soumis, et en vertu de laquelle ils prenaient diverses directions. Depuis l'établissement de la doctrine de l'électro-magnétisme, on ne peut douter que le globe ne soit une

espèce de pile galvanique dont les pôles sont en communication, et par conséquent où règnent des courans électriques. En effet, dans toutes les expériences de ce genre, où l'on doit tenir compte de l'action du globe, il suffit de l'assimiler à un fil conducteur, et de calculer de la sorte son influence. Dans cette théorie la supposition gratuite d'une nouvelle force est inutile pour expliquer les phénomènes; rien n'est en effet plus naturel que de penser que la superposition de couches hétérogènes, telles que nous les rencontrons à la surface du globe, produit une décomposition du fluide électrique absolument analogue à celle qui a lieu dans la pile, et par suite établit à cette surface des courans électriques également semblables à ceux de cette pile. On concevra de même parfaitement la direction de ces courans de l'est à l'ouest, en remarquant qu'elle est à peu près opposée au mouvement de la terre, et que ce mouvement doit nécessairement exercer une grande influence sur le mode d'action du fluide et sur sa marche. Enfin on sait que les variations de chaleur dans les corps suffisent pour leur faire prendre des états galvaniques différens. On ne sera donc point étonné de voir plusieurs phénomènes magnétiques liés intimement à la présence et à la marche apparente du soleil autour de la terre; l'action de cet astre doit nécessairement faire varier l'intensité des courans, et elle explique ainsi les variations diurnes et annuelles que présente l'aiguille aimantée.

314. On explique avec la même facilité l'inclinaison et la déclinaison. On sait qu'une aiguille aimantée suspendue librement se dirige constamment à peu près vers le nord, et c'est à cause de cette propriété que les boussoles, qui ne sont autre chose que des aiguilles aimantées suspendues sur un pivot, sont d'un si grand secours dans les

voyages de long cours. Mais nous avons dit que cette direction se faisait à peu près vers le nord : c'est cette différence qu'on appelle la *déclinaison* de l'aiguille ; elle varie selon les lieux, et est en ce moment, à Paris, de 22° 19′ à l'ouest ; elle varie aussi selon les temps, et paraît soumise a une période de révolution dans de certaines limites. On conçoit que la déclinaison est due à la différence qui existe entre l'équateur terrestre et l'équateur magnétique, c'est-à-dire la direction des courans, à laquelle l'aiguille est toujours perpendiculaire, différence qui peut elle-même avoir pour cause la révolution de notre globe dans l'orbite de l'écliptique, et présenter une période de variation analogue à celle de l'inclinaison de cet orbite.

315. Une aiguille aimantée ne prend pas seulement la direction du méridien magnétique, mais elle s'abaisse aussi plus ou moins, selon les lieux : c'est ce qu'on appelle l'*inclinaison*. Elle est nulle sur la ligne de l'équateur magnétique, elle est perpendiculaire aux pôles magnétiques et intermédiaire dans les autres lieux. Ainsi, à Paris, elle est de 68° 30′ en ce moment. Nous disons en ce moment, car elle présente aussi une période de variation dont on ignore encore les limites. Mais, quant à sa cause, il est facile de voir que l'inclinaison est produite par la tendance générale des courans à se disposer parallèlement et dans le même sens, soit dans les aimans, soit dans les conducteurs électriques.

316. Les voyages des navigateurs ont fait reconnaître une multitude d'irrégularités dans la déclinaison et l'inclinaison de l'aiguille, ainsi que dans l'intensité de la force magnétique, intensité qu'on mesure par le nombre d'oscillations que fait une aiguille écartée de sa direction pendant un temps donné. La position réelle des pôles et de l'équateur magnétiques n'est donc pas exactement

déterminée, malgré les nombreuses recherches, tant d'observation que de calcul, auxquelles les savans se sont livrés sur ce sujet. Mais la solution de ces questions importe peu à la théorie; et il est facile de concevoir que l'arrangement des continens et des couches terrestres peut, et même doit influer d'une manière locale sur les résultats généraux.

317. Nous terminerons ce chapitre en prémunissant le lecteur contre la prétendue influence de certaines sympathies existantes entre des êtres animés; l'explication qu'on en donne est aussi absurde qu'obscure. On désigne sous le nom de *magnétisme animal* une série de phénomènes qui n'ont d'autres bases que le charlatanisme et la crédulité. Ils ne peuvent mériter de fixer l'attention du physicien, puisqu'ils ne soutiennent pas l'examen de la raison. Si l'électricité paraît jouer un rôle très important dans l'organanisation des êtres et dans les phénomènes de la vie, ce n'est sûrement point par des moyens qui ne s'adressent qu'à l'imagination qu'on parviendra à découvrir les lois et le mode de son action, mais bien par une étude profonde des fonctions de tout genre de ces êtres, ainsi que des lois générales de l'électricité. Telle doit être la marche du sage, du naturaliste et du physicien Ce n'est que quand des observateurs philosophes, de vrais savans s'occuperont de ces recherches intéressantes, qu'on pourra espérer de voir dissiper l'obscurité qui les environne.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES.

ARTICLE préliminaire..... Page 5
INTRODUCTION..... 15

LIVRE PREMIER.

DES PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES CORPS..... 37
2. Division du premier Livre..... 38
CHAPITRE PREMIER. De la matérialité..... 40
3. Opinions des philosophes sur la matière..... *ibid.*
4. Réserve du physicien..... 41
5. Opinions des anciens et des chimistes sur les élémens de la matière..... 42
CHAP. II. De l'étendue..... 44
7. Espace absolu : du plein et du vide..... *ibid.*
8. Espace relatif : figure des corps..... 45
9. Corps réguliers : les cristaux..... 46
10. Corps irréguliers : solides, liquides, aériformes, impondérables..... *ibid.*
CHAP. III. De la divisibilité..... 48
11. Divisibilité rationnelle et physique..... *ibid.*
12. Exemples étonnans de divisibilité..... *ibid.*
13. Ductilité ou malléabilité..... 50
CHAP. IV. De l'impénétrabilité et de la porosité... 51
15. Exemples de ces propriétés dans les solides.. 52
16. Imperméabilité..... 53
17. Exemples dans les liquides et les fluides aériformes..... *ibid.*
18. Diminution de volume ; idées de M. de Laplace sur la porosité..... 54
CHAP. V. De l'élasticité..... 55
19 et 20. Causes des divers états d'aggrégation solide, liquide, aériforme des corps..... 56
21. Causes de l'élasticité des corps..... 58
22. Phénomènes d'élasticité par compression.... 60
23. Phénomènes d'élasticité par extension..... 61
24. Causes des effets de l'écrouissage, du recuit, de la trempe..... 62
CHAP. VI. De l'attraction et de la pesanteur..... 63
25. Découverte des lois de la pesanteur et de l'attraction..... *ibid.*
26. Causes de la gravitation..... 64
SECT. I. De la pesanteur..... 65

27. Notions générales sur la pesanteur . . . . . Page 65
28. Dans le vide, tous les corps tombent avec une égale vitesse 66
29. Différences entre la pesanteur, le poids, la densité d'un corps 67
Sect. II. Du centre de gravité et des balances . . . 68
31. Position du centre de gravité ; applications . . 69
32. Construction des balances ; méthode des doubles pesées . . . . . *ibid.*
Sect. III. De la chute des graves 71
33. Loi d'accélération . . . . . *ibid.*
34. Machine d'Atwood 72
35. Différence de la pesanteur selon les lieux, sur les hautes montagnes 73
36. La force de la pesanteur réside dans toutes les molécules matérielles . . . . . *ibid.*
37. Balance de torsion ; expérience de Cavendish. 74
Sect. IV. De la capillarité 75
39. Phénomènes capillaires . . . . . *ibid.*
40. Causes de la capillarité 76
Sect. V. Du frottement 78
41. Phénomènes du frottement . . . . . *ibid.*
42. Produits par deux causes . . . . . *ibid.*
Chap. VII. Du mouvement et du repos 80
43. L'inertie fournit toutes les lois du mouvement. *ibid.*
44. Ses causes nommées forces motrices . . . . . *ibid.*
45. Mouvement et repos absolus et relatifs 82
Sect. I. De la vitesse 83
46. Première loi du mouvement . . . . . *ibid.*
47. Mesure du temps . . . . . *ibid.*
48. Deuxième et troisième lois du mouvement 84
Sect. II. Des diverses sortes de mouvement 85
49. Modifications du mouvement causées par le choc . . . . . *ibid.*
50. Modifications causées par la résistance et la pesanteur 88
51. Mouvemens variés . . . . . *ibid.*
Sect. III. Direction des forces et des mouvemens. 7
52. Mouvemens rectilignes et curvilignes . . . . . *ibid.*
53. Forces centrales 88
Sect. IV. Du pendule 90
55. Oscillations du pendule . . . . . *ibid.*

56. Leur isochronisme, leur durée 91
57. Leur application à la recherche de la pesanteur ..... ibid.
58. Leur application à la mesure du temps; compensateurs ..... ibid.
Sect. V. De l'équilibre des corps 93

LIVRE SECOND.

Des propriétés particulières des corps 94
61. Sciences dont elles sont le but 95
62. Division du second Livre ..... ibid.
Chapitre premier. Des corps solides 96
Sect. I. Équilibre des corps solides 98
65. Équilibre d'un point matériel ..... ibid.
66. Équilibre d'un corps ..... ibid.
67. Applications aux machines 99
Sect. II. Pesanteur spécifique des solides 100
69. Moyens de la mesurer ..... ibid.
70. Causes d'erreur à corriger 101
Sect. III. Dilatation des solides ..... ibid.
71. Action de la chaleur et du froid ..... ibid.
72. Pyromètres 103
73. Thermomètre de Breguet ..... ibid.
Chap. II. Des corps liquides 104
75. Liquéfaction et solidification des corps ..... ibid.
77. État des liquides 105
79. Propriétés des liquides ..... ibid.
Sect. I. Dilatation des liquides 108
81. Thermomètres; leur théorie ..... ibid.
82. Causes d'erreur à éviter 110
83. Des divers liquides ..... ibid.
84. Construction du thermomètre; division de l'échelle 111
85. Mesure de la dilatation des liquides 112
Sect. II. De l'équilibre et des mouvemens des liquides 114
88. Conditions de leur équilibre ..... ibid.
89. Estimation de la pression par celle d'un filet liquide 115
90. Des corps flottans : conditions de leur équilibre ..... ibid.
91. Mouvemens des corps dans les liquides 116

92. Mouvemens des liquides ; résistances qu'ils éprouvent ; veine fluide.....Page 117
93. Niveau ; effets naturels et artificiels des mouvemens de l'eau 118
SECT. III. Pesanteur spécifique des liquides..... 119
94. Mesure de leur densité..... *ibid.*
95. Aréomètres de Fareinheith et de Beaumé.... 120
96. Aréomètre-balance de Nicholson..... 121
SECT. IV. De l'ébullition..... *ibid.*
97. Tension des liquides ..... *ibid.*
98. Vaporisation des liquides..... 122
CHAP. III. Des fluides aériformes 123
99. Gazéification ; liquéfaction des corps..... *ibid.*
100. Différences des fluides aériformes permanens et non permanens 124
101 Propriétés des fluides aériformes..... 125
SECT. I. Des vapeurs, ou fluides non permanens.. 127
103. Évaporation des liquides..... *ibid.*
§. I. Formation des vapeurs 128
105. Dans l'air et dans le vide. ..... *ibid.*
107. Leur élasticité s'ajoute à celle des gaz. 130
108. Variations de la tension des vapeurs des différens corps..... 131
§. II. Effets de l'élasticité et du dégagement de la vapeur 133
112. Dans l'atmosphère..... *ibid.*
113. Comme force motrice..... 134
114. Mesure de l'élasticité des vapeurs..... *ibid.*
115 et 116. Modification dans la vitesse de dégagement et la tension des vapeurs. 135
117. Absorption de chaleur dans l'évaporation.. 136
§. III. De l'hygrométrie 137
118 Humidité de l'air ; nécessité de l'apprécier.. *ibid.*
120. Substances hygrométriques..... 138
121. Hygromètre à cheveu 139
122. Action de l'humidité sur les êtres organisés. 140
123. Deliquescence ..... *ibid.*
SECT II. Des gaz, ou fluides permanens. 141
125. Propriétés générales ..... *ibid.*
§. I. Pesanteur de l'air..... 142
126. Découverte de sa pesanteur..... *ibid.*
127. Barometres..... 143

130. Usages des baromètres.....Page 145
132. Mesure de l'atmosphère et des hauteurs.... *ibid.*
133. Effets de la pression des gaz..... 146
§. II Élasticité, compressibilité de l'air et des gaz. 148
135. Des pompes..... *ibid.*
139. Machine pneumatique..... 150
141. Effets de l'élasticité et de la compressibilité des gaz..... 151
143. Des aérostats..... 152
§. III. Pesanteur spécifique de l'air et des gaz... 153
144. Mesure de la densité des gaz..... *ibid.*
145. Corrections à faire; densité de plusieurs gaz. *ibid.*
§. IV. Dilatation des gaz..... 154
147. Thermomètre à air..... *ibid.*
148. Dilatation uniforme des gaz..... 155
Chap. IV. De l'acoustique, ou du son..... 156
149. Cause productrice du son..... *ibid.*
150. Variétés infinies des sons..... 157
151. Objet de l'acoustique..... *ibid.*
Sect. I. Formation des sons..... 158
152. Mouvement oscillatoire; propriété vibratoire des corps..... *ibid.*
155. L'air, véhicule ordinaire du son..... 160
156. Propagation du son dans les autres corps... *ibid.*
157. Vibrations des cordes élastiques; du sonomètre..... 161
158. Bases fondamentales de la formation des sons..... 162
160. Des différens instrumens..... 163
Sect. II. Transmission et propagation du son.... 165
162. Ebranlement des corps sonores; propagation du son..... 166
163. Causes des différens sons..... *ibid.*
164. Intensité du son..... 167
165. Vitesse du son..... 168
168. Réflexion du son; échos..... 169
Sect. III. De la comparaison des sons..... 170
169. Diverses sortes de vibrations..... *ibid.*
170. Échelle musicale..... *ibid.*
171. Tempérament..... 171
172. Sons harmoniques..... *ibid.*
174. Interférences des sons..... 172

LIVRE TROISIÈME.

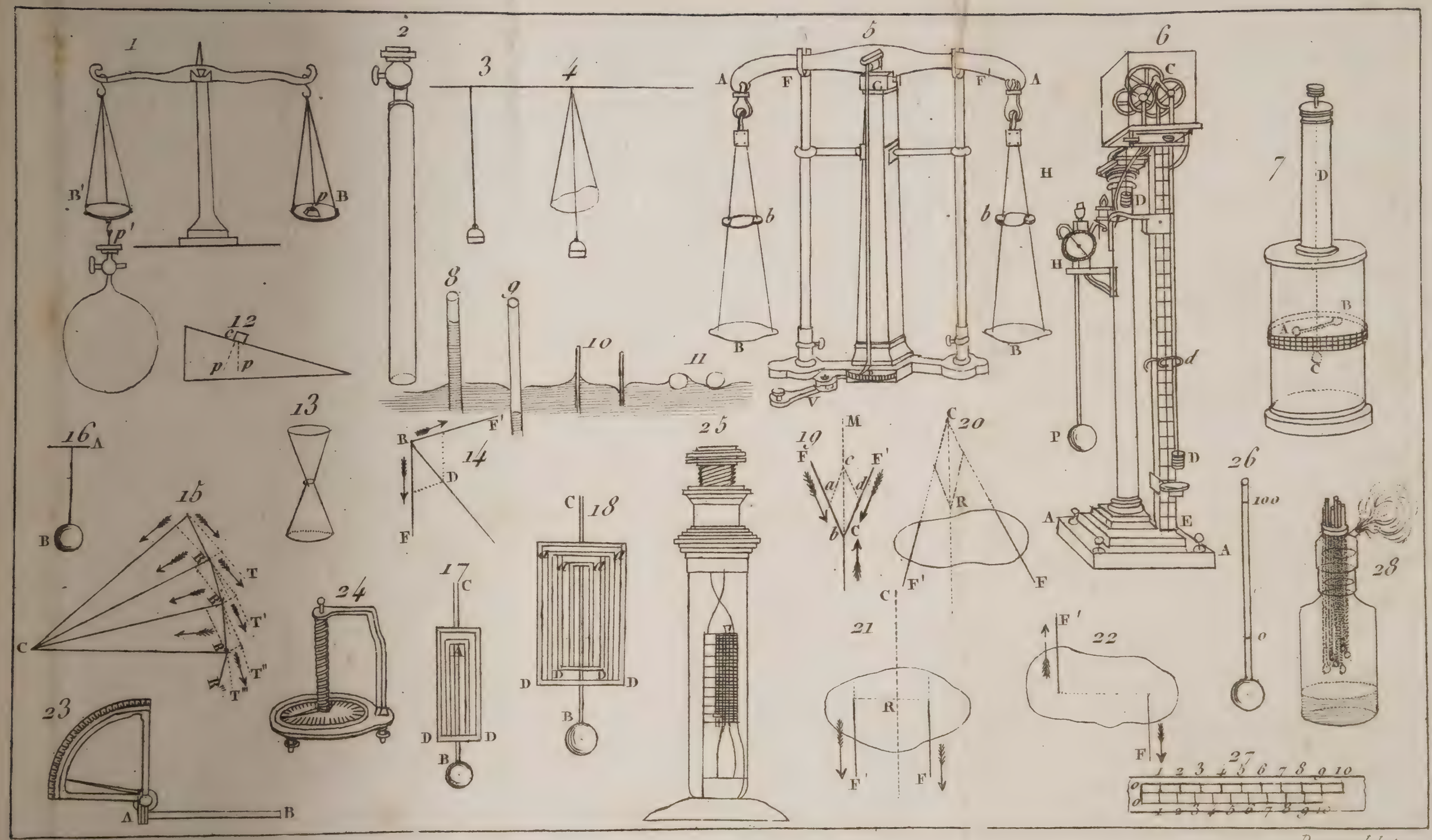
DES FLUIDES IMPONDÉRABLES.....Page 174
175. Considérations générales..... *ibid.*
177. Phénomènes dus à l'action de ces fluides.. 175
178. De leur nature ; de leur action..... 176
179. Système des émanations..... 177
180. Système des vibrations..... 178
182. Plan et division de ce Livre..... 180
CHAP. I. Du calorique..... 183
183. Opinions sur la cause de la chaleur..... *ibid.*
184. Premiers effets de la chaleur dans les corps. 184
SECT. I. De la production et du développement de la chaleur..... 185
186. De la chaleur du soleil ..... *ibid.*
188. De la combustion; du feu..... 186
189. De l'utilité du feu 188
190. Des autres sources de chaleur..... *ibid.*
SECT. II. De la propagation du calorique..... 190
194. Propagation par contact..... *ibid.*
195. Faculté conductrice des corps..... 192
197. Propagation par rayonnement ; thermomètre différentiel 193
198 Conditions de l'équilibre de température ; cause de la rosée..... 194
199. Marche de la chaleur rayonnante..... 195
SECT. III. Du calorique latent ou spécifique ; de la capacité des corps pour le calorique..... 196
201. Ce qu'on entend par chaleur latente..... *ibid.*
202. Capacité des corps en raison de leur état solide, liquide, gazeux..... 197
203. Capacité différente des corps 198
204. Mesure de cette capacité; calorimètres.... 199
CHAP. II. De la lumière..... 200
206. Opinions sur la cause de la lumière..... *ibid.*
207. Cause de l'intensité variable de la lumière.. 202
208. Sources de la lumière..... 203
211. Objet et division de ce chapitre..... 205
SECT. I. De la lumière directe, ou de l'optique... 207
213. Marche de la lumière dans l'espace..... *ibid.*
214. Lois et causes du décroissement de la lumière..... 208

216. Mode de rayonn. des corps lumineux.. Page 210
217. Vitesse de transmission de la lumière.. .. 211
Sect. II. De la diffraction et de l'inflexion de la lumière ; des anneaux colorés; théorie des interférences.. 212
219. Comparaison des phénomènes du son et de la lumière..... *ibid.*
220. Expériences sur l'inflexion et la diffraction de la lumière..... 213
222. Explication de ces phénomènes; théorie des accès; théorie des interférences..... . 215
223. Expérience décisive en faveur de la théorie des vibrations..... 216
224. Mesure des ondulations lumineuses... 217
225. Limites des ondes visibles..... *ibid.*
226. Conditions nécessaires à la production des interférences..... 219
227. Nouveaux phénomènes d'interférences.. .. *ibid.*
228. Application de ces principes à la diffraction. 221
229. Action des lames minces et des anneaux colorés ..... *ibid.*
Sect. III. Théorie de la lumière..... 223
231. Résumé et conséquences des expériences précédentes..... ..... *ibid.*
232. Cause de la formation des ondes..... 224
233. De la réflexion des ondes..... 225
234. De la réfraction des ondes..... 227
235. De la coloration des corps..... 228
Sect. IV. De la réflexion de la lumière, ou de la catoptrique..... 231
236. Du poli des surfaces..... ..... *ibid.*
237. Partage d'un faisceau de lumière incident... 232
238. Réflexion des miroirs plans, courbes, etc.. 233
Sect. V. De la réfraction de la lumière, ou de la dioptrique..... 236
241. Marche de la lumière en passant d'un milieu dans un autre..... ..... *ibid.*
242. Pouvoir réfringent des corps..... 237
243. Phénomènes de réfraction; mirage..... *ibid.*
244. Effets des prismes et des lentilles.. 238
246. De l'achromatisme..... *ibid.*
247. De l'arc-en-ciel..... 240

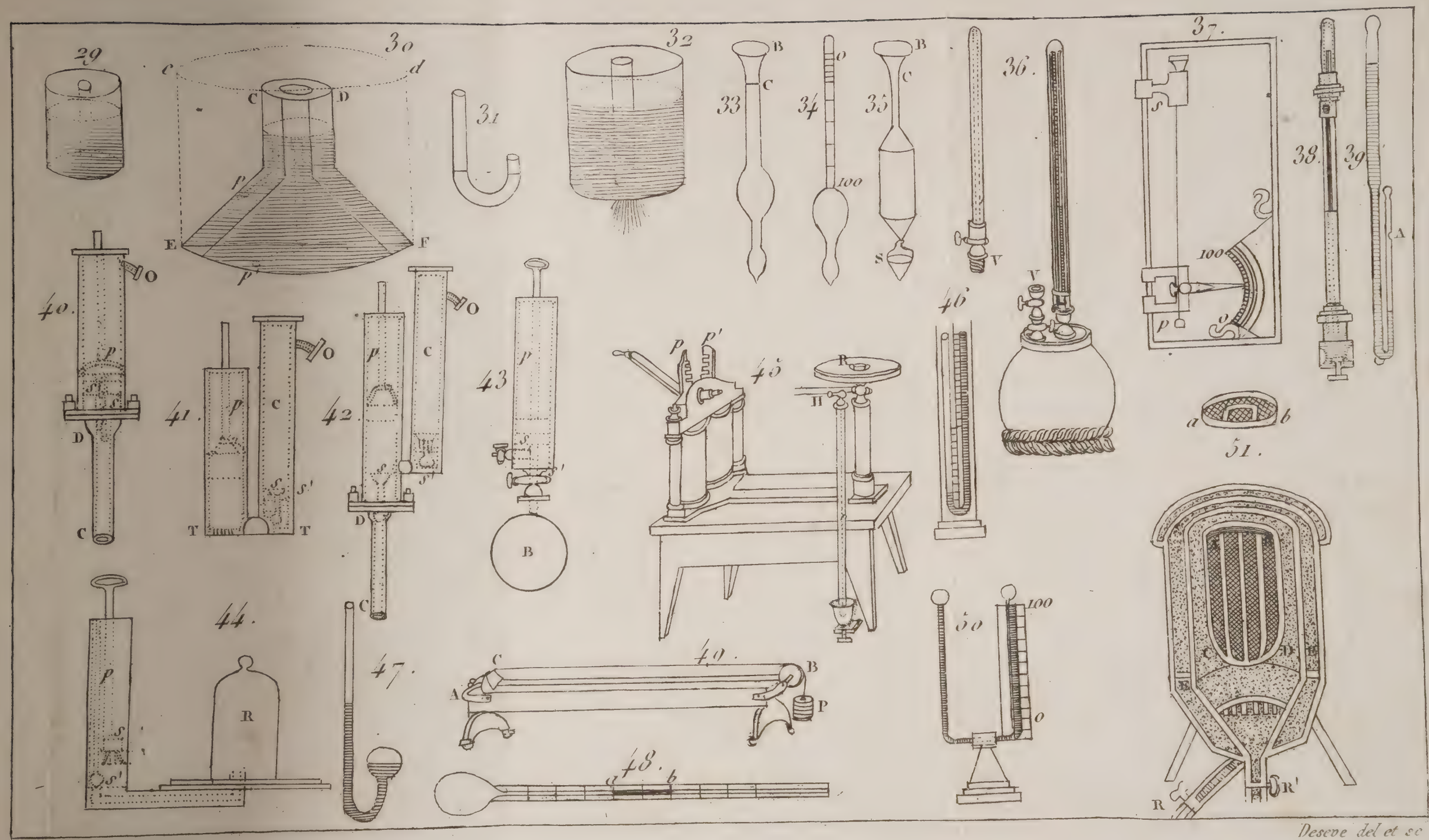
SECT. VI. De la coloration des corps, ou de la chromatique ..... Page 241
248. Du spectre solaire ..... *ibid.*
249 Décomposition de la lumière..... 242
250. Des diverses sortes de rayons..... 243
252. Des couleurs propres des corps..... 245
254. De l'opacité et de la transparence..... 247
SECT. VII. De la vision 248
256. Description de l'œil chez l'homme..... 248
257. Chez les animaux..... 250
258. Influence de l'habitude dans nos jugemens.. 251
260. Perfection des organes de la vision..... 252
261. Moyens de remédier à leurs défauts..... 253
SECT. VIII. Des instrumens d'optique..... 254
262. Théorie de leur construction..... *ibid.*
263. Des microscopes..... 255
264. Des télescopes et lunettes..... *ibid.*
266. Chambre noire, *camera lucida* 258
267. Microscope solaire, lanterne magique, fantasmagorie etc..... ..... *ibid.*
SECT. IX. De la double réfraction et de la polarisation de la lumière 259
268. Exposition de ces phénomènes; opinions des savans ..... *ibid.*
270. Recherches des physiciens sur la polarisation..... 260
271. Polarisation des cristaux; polarisation par réflexion..... ... 261
272. Polarisation de la tourmaline, du mica et d'autres corps non cristallisés 262
273. Application de ces phénomènes..... 263
CHAP. III. De l'électro-magnétisme..... 264
275. Réunion de l'électricité, du galvanisme et du magnétisme..... ..... *ibid.*
276. Opinions sur la cause de ces phénomènes.. 265
277. Divisions de ce chapitre 266
SECT. I. Du développement de l'électricité 267
278. Des diverses causes de dégagement de l'électricité .... *ibid.*
282. Lois des attractions et répulsions électriques 269
283. Faculté conductrice et isolante des corps... *ibid.*

SECT. II. Des moyens de produire et de reconnaître l'électricité. . . . . Page 272
285. Des électroscopes et des électromètres . . . . *ibid.*
286. De la machine électrique. 273
287. Jeux électriques 274
288. Accumulation de l'électricité; condensateur, électrophore. . . . . *ibid.*
290. Excitateur; bouteilles de Leyde; batteries électriques. 276
SECT. III. Des phénomènes naturels de l'électricité 277
291. Causes et formation des orages. . . . . *ibid.*
293. Paratonnerres, paragrêles 278
294. Lumière, étincelle électrique. 279
295. Action et phénomènes de l'électricité dans différens corps. 280
298. Animaux électriques. 281
SECT. IV. De l'électricité par contact, ou du galvanisme. . . . . *ibid.*
300. Découvertes de Galvani et de Volta. 282
301. Pile galvanique ou de Volta. 283
303. Action de la pile. 285
SECT. V. Des courans électriques, ou des phénomènes électro-magnétiques. 286
305. Démonstration de l'identité du magnétisme et de l'électricité; découvertes et travaux de MM. Oersted, Ampère et Arago . . . . . *ibid.*
307. Formation des courans. 288
308. Action des courans; leur disposition. . . . . *ibid.*
SECT. VI. Des phénomènes de l'aimant ou du magnétisme. 292
310. Des aimans naturels et artificiels. . . . . *ibid.*
311. Diverses méthodes d'aimantation. 293
312. Points conséquens. 294
313. Causes du magnétisme du globe. . . . . *ibid.*
314. De la déclinaison de l'aiguille aimantée. 295
315. De l'inclinaison. 296
316. Des variations de position des pôles et de l'équateur magnétiques. . . . . *ibid.*

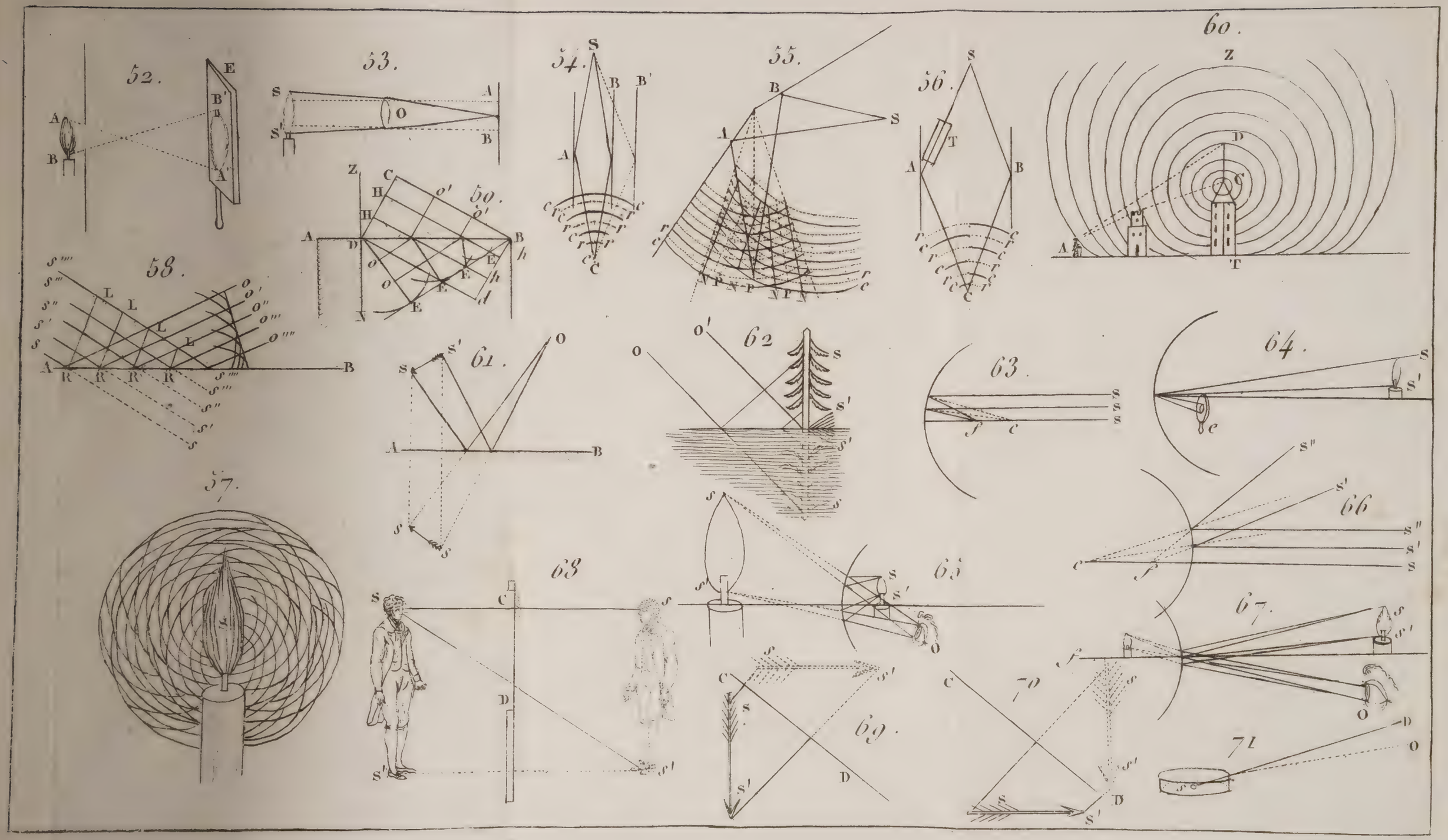
DE L'IMPRIMERIE DE CRAPELET,
rue de Vaugirard, n° 9.



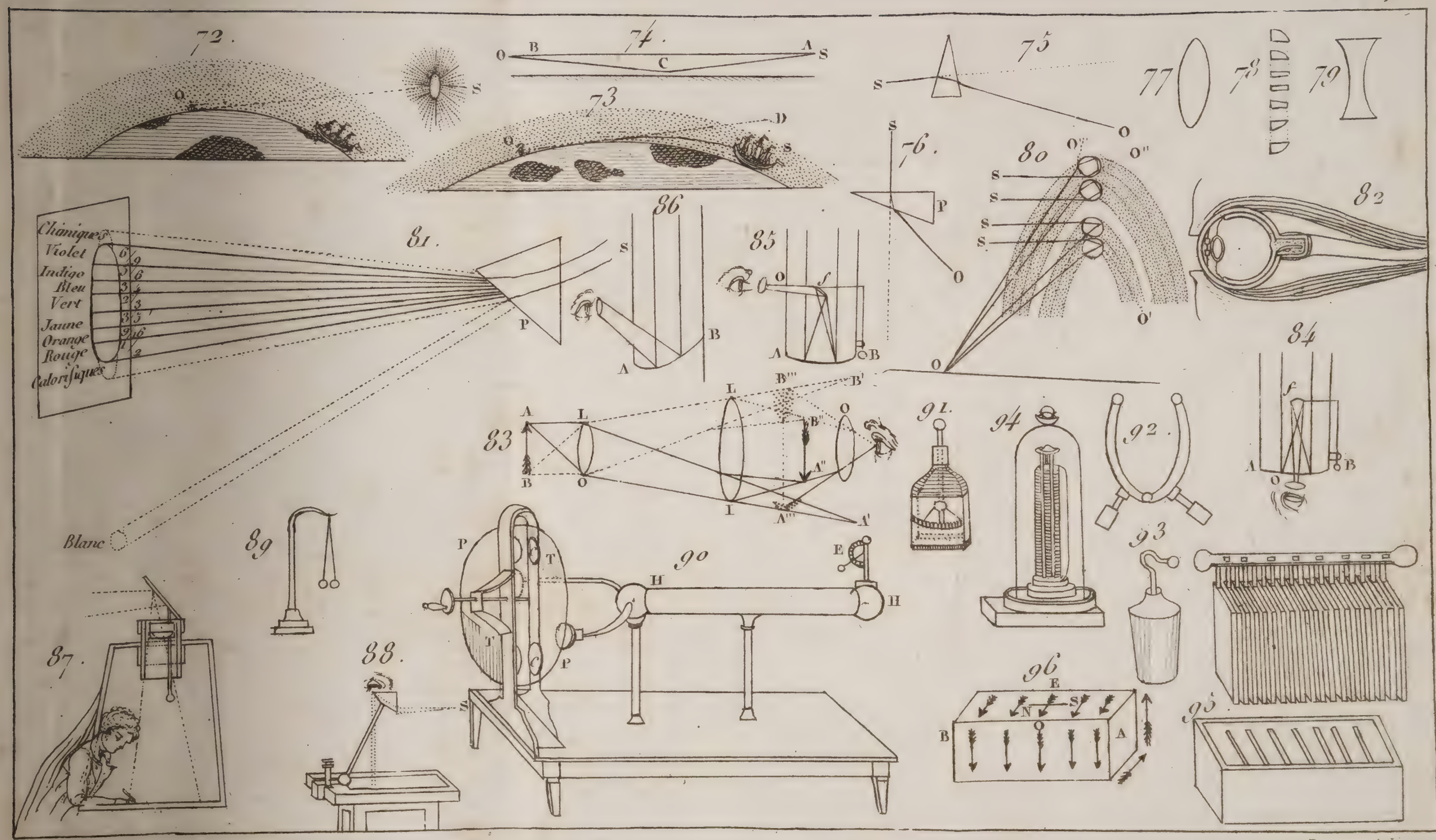
Desève del et se.



Deseve del et sc



Desene del et sc.



Deseve del et sc.